

**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:

**“OPTIMIZACIÓN DEL VEHÍCULO HYUNDAI GETZ 1.5 CRDI, MEDIANTE LA
REPROGRAMACIÓN DE LA ECU ORIGINAL VÍA OBD II, PARA EL
INCREMENTO DE LA EFICIENCIA DEL MOTOR EN LA CIUDAD DE CUENCA”**

AUTORES:

PABLO BERNARDO CELI VÉLEZ

DAVID FRANCISCO MONTESDEOCA MONTESDEOCA

TUTOR:

ING. NÉSTOR DIEGO RIVERA CAMPOVERDE, M.Sc

CUENCA – ECUADOR

2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

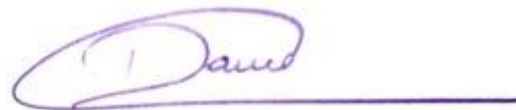
Nosotros, Pablo Bernardo Celi Vélez con documento de identificación N° 0106202435 y David Francisco Montesdeoca Montesdeoca con documento de identificación N° 0104672852, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“OPTIMIZACIÓN DEL VEHÍCULO HYUNDAI GETZ 1.5 CRDI, MEDIANTE LA REPROGRAMACIÓN DE LA ECU ORIGINAL VÍA OBD II, PARA EL INCREMENTO DE LA EFICIENCIA DEL MOTOR EN LA CIUDAD DE CUENCA”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecánico Automotriz*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Cuenca, julio de 2021.



Pablo Bernardo Celi Vélez
C.I. 0106202435



David Francisco Montesdeoca M.
C.I. 0104672852

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“OPTIMIZACIÓN DEL VEHÍCULO HYUNDAI GETZ 1.5 CRDI, MEDIANTE LA REPROGRAMACIÓN DE LA ECU ORIGINAL VÍA OBD II, PARA EL INCREMENTO DE LA EFICIENCIA DEL MOTOR EN LA CIUDAD DE CUENCA”** realizado por Pablo Bernardo Celi Vélez y David Francisco Montesdeoca Montesdeoca, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio de 2021.



Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde, M.Sc
C.I. 0103898995

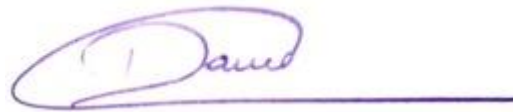
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Pablo Bernardo Celi Vélez con documento de identificación N° 0106202435 y David Francisco Montesdeoca Montesdeoca con documento de identificación N° 0104672852, autores del trabajo de titulación: **“OPTIMIZACIÓN DEL VEHÍCULO HYUNDAI GETZ 1.5 CRDI, MEDIANTE LA REPROGRAMACIÓN DE LA ECU ORIGINAL VÍA OBD II, PARA EL INCREMENTO DE LA EFICIENCIA DEL MOTOR EN LA CIUDAD DE CUENCA”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, julio de 2021.



Pablo Bernardo Celi Vélez
C.I. 0106202435



David Francisco Montesdeoca M.
C.I. 0104672852

Dedicatoria

Pablo Bernardo Celi Velez

Dedico este trabajo de titulación el cual representa el final de una travesía a mis padres los cuales fueron mi apoyo y pilar fundamental para lograr esta y todas las metas planteadas en mi vida. Sin su ayuda definitivamente no hubiera logrado llegar al final de este camino llamado universidad, ya que ellos han inculcado en mi persona valores los cuales me han permitido formarme de una manera íntegra. De igual forma dedico este trabajo a Dios que me ha brindado la oportunidad de seguir mis metas.

Gracias, padres por todo su apoyo.

David Francisco Montesdeoca Montesdeoca

Luego de todo el camino recorrido en estos 5 años, quiero dedicar este trabajo a todas esas personas especiales que estuvieron ahí conmigo, empezando con mis papás, que incluso cuando no llegaba a casa por hacer trabajos siempre estaban ahí para alentarme, a mi hermano que siempre estuvo ahí para mí, a mis abuelitos que jamás perdieron la fé en mi por más que me vieran destruido, a todos mis amigos Pablo, Kevin, Andrés, Marco y René, que con ustedes lo logramos y conseguimos siempre salir victoriosos durante estos 10 ciclos, a Dios por darme la fuerza, la paciencia y sabiduría para conseguir este logro y finalmente para mi amuleto de buena suerte, mi gatita Luna, que sin importar la hora a la que me quedará estudiando o haciendo deberes ella jamás se alejó de mi lado.

Agradecimientos

Pablo Bernardo Celi Velez

Agradezco a mis padres por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida y en este proceso de aprendizaje académico.

También mis agradecimientos a todos mis profesores los cuales fueron mi guía a lo largo de esta carrera, con un especial énfasis al Ingeniero Nestor Rivera por su gran apoyo en mi formación académica.

Agradezco a Dios y toda mi familia los cuales han sido un pilar fundamental todo este proceso de grandes aprendizajes.

Por último y de suma importancia agradezco a todos mis amigos Kevin, Pablo, Marco, René, Mario los cuales me han ayudado a superar todas las metas a lo largo de la carrera y se han convertido en una familia. Con especial énfasis a mi gran amigo Montes, con el cual empezamos la universidad juntos y la terminamos de la misma forma.

David Francisco Montesdeoca Montesdeoca

Agradezco a todos los docentes con los que tuve el honor de cursar materias durante la carrera, donde no solo crecí académicamente, sino también personalmente, Agradezco a mis papás por apoyarme a estudiar lo que me gusta, a mi hermano por jamás faltarme y a mis abuelitos por ser siempre un apoyo incondicional. Además, quiero ofrecer mis agradecimientos especiales al Ingeniero Néstor Rivera, por ayudarme en mi proyecto de tesis y sobre todo a mi compañero de tesis Pablo Celi, ha sido un privilegio y un verdadero honor trabajar con ustedes dos.

RESUMEN

La altitud es un factor clave para el óptimo funcionamiento de los motores a combustión interna, siendo la altura óptima el nivel del mar. Sin embargo, no todas las ciudades se encuentran a nivel del mar, siendo este el caso de la ciudad de Cuenca, ubicada en el país andino Ecuador. Este estudio se centra específicamente en la ciudad de Cuenca, la cual se encuentra aproximadamente a 2500 m.s.n.m. Esto significa que los motores de combustión interna pierden eficiencia.

Se utilizó el vehículo Hyundai Getz 1.5 CRDI en el cual se puede medir una pérdida del alrededor del 5%, pese a que el mismo vehículo ya cuenta con un turbo compresor que debería suprimir esta pérdida. Para compensar la pérdida de eficiencia del motor, se tomaron muestras en un banco dinamométrico en pruebas a RPM constantes de distintas reprogramaciones de la ECU original del vehículo con el fin de buscar una optimización de los mapas del motor para obtener como resultado un motor más eficiente en la ciudad de Cuenca, Ecuador.

En las distintas reprogramaciones de los archivos de la ECU del motor se modificaron tres mapas, los cuales son los más importantes en el funcionamiento de este motor. Estos son: inyección respecto al TPS, presión del rail de inyección y presión del turbo.

Como principales resultados del proyecto, se obtuvo una ganancia de potencia de alrededor de 10 HP y un aumento de torque de aproximadamente 30 Nm, con un mínimo incremento de ciertas emisiones contaminantes y la reducción de otras.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	16
PROBLEMA.....	16
Antecedentes	16
Importancia y alcance	17
Delimitación.....	17
OBJETIVOS	17
Objetivo General.....	17
Objetivos específicos	17
FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	19
Marco teórico.....	19
Motor Diésel	20
CRDI.....	21
Impacto de la presión atmosférica en los motores	21
Reprogramación de ECU originales	22
MARCO METODOLÓGICO.....	26
Aplicación de técnicas para la mejora continua.....	26
Definición del diseño de experimentos.....	26
Diseño y planeación del experimento	28
Variables de Respuesta	28
Variables de estudio.....	29
Variables de Bloqueo.....	29
Variables de Ruido.....	30
Unidad experimental.....	30
Vehículo de pruebas.....	30
Módulo electrónico de reprogramación de computadoras.....	31
Software	32
Banco Dinamométrico	32
Analizador de Gases	33
Opacímetro.....	34
Multímetro con termómetro infrarrojo.....	35
Pruebas en el vehículo sin modificaciones en la ECU.....	35
ECU del vehículo.....	37
Extracción de los mapas originales.....	38
Modificación de mapas	41
Tabla de modificación de mapas.....	42
Proceso de reprogramación.....	43

Pruebas en el banco dinamométrico	45
Dispositivos utilizados en las pruebas	46
Datos obtenidos del banco dinamométrico	46
Datos obtenidos del scanner OBD2	46
Datos obtenidos del Analizador de gases.....	47
Datos obtenidos del opacímetro.....	48
Análisis de variables de salida obtenidas mediante software	48
Potencia 80% de carga a 2000 RPM.....	48
Potencia 100% de carga a 2000 RPM.....	49
Potencia 80% de carga a 3000 RPM.....	51
Potencia 100% de carga a 3000 RPM.....	52
CO 80% de carga a 2000 RPM	53
CO 100% de carga a 2000 RPM	54
CO 80% de carga a 3000 RPM	55
CO 100% de carga a 3000 RPM	56
O2 80% de carga a 2000 RPM.....	57
O2 100% de carga a 2000 RPM.....	58
O2 80% de carga a 3000 RPM.....	59
O2 100% de carga a 3000 RPM.....	60
Material particulado a 80% de carga a 2000 RPM	61
Material particulado a 100% de carga a 2000 RPM	62
Material particulado a 80% de carga a 3000 RPM	63
Material particulado a 100% de carga a 3000 RPM	64
Par motor 80% de carga a 2000 RPM.....	65
Par motor 100% de carga a 2000 RPM.....	66
Par motor 80% de carga a 3000 RPM.....	67
Par motor 100% de carga a 3000 RPM.....	68
HC 80% de carga a 2000 RPM	69
HC 100% de carga a 2000 RPM	70
HC 80% de carga a 3000 RPM	71
HC 100% de carga a 3000 RPM	72
NOx 80% de carga a 2000 RPM.....	73
NOx 100% de carga a 2000 RPM.....	74
NOx 80% de carga a 3000 RPM.....	75
NOx 100% de carga a 3000 RPM.....	76
Cantidad de diésel 80% de carga a 2000 RPM	77
Cantidad de diésel 100% de carga a 2000 RPM	78

Cantidad de diésel 80% de carga a 3000 RPM	79
Cantidad de diésel 100% de carga a 3000 RPM	80
Fuerza tractora 80% de carga a 2000 RPM	81
Fuerza tractora 100% de carga a 2000 RPM	82
Fuerza tractora 80% de carga a 3000 RPM	83
Fuerza tractora 100% de carga a 3000 RPM	84
CO2 80% de carga a 2000 RPM	85
CO2 100% de carga a 2000 RPM	86
CO2 80% de carga a 3000 RPM	87
CO2 100% de carga a 3000 RPM	88
Análisis de gráficas factoriales	89
Par motor 80% de carga a 2000 RPM.....	89
Par motor 100% de carga a 2000 RPM.....	90
Par motor 80% de carga a 3000 RPM.....	91
Par motor 100% de carga a 3000 RPM.....	92
Potencia 80% de carga a 2000 RPM.....	93
Potencia 100% de carga a 2000 RPM.....	94
Potencia 80% de carga a 3000 RPM.....	95
Potencia 100% de carga a 3000 RPM.....	96
NOX 80% de carga a 2000 RPM.....	97
NOX 100% de carga a 2000 RPM.....	98
NOX 80% de carga a 3000 RPM.....	99
NOX 100% de carga a 3000 RPM.....	100
Material particulado 80% de carga a 2000 RPM	101
Material particulado 100% de carga a 2000 RPM	102
Material particulado 80% de carga a 3000 RPM	103
Material particulado 100% de carga a 3000 RPM	104
Fuerza tractora 80% de carga a 2000 RPM	105
Fuerza tractora 100% de carga a 2000 RPM	106
Fuerza tractora 80% de carga a 3000 RPM	107
Fuerza tractora 100% de carga a 3000 RPM	108
CO 80% de carga a 2000 RPM	109
CO 100% de carga a 2000 RPM	110
CO 80% de carga a 3000 RPM	111
CO 100% de carga a 3000 RPM	112
Análisis de interacción entre parámetros	113
Gráficas de superficie de interacción de Potencia a 100% de carga a 2000 RPM.....	113

Gráficas de superficie de interacción de Potencia a 80% de carga a 2000 RPM.....	113
Gráficas de superficie de interacción de Potencia a 100% de carga a 3000 RPM.....	114
Gráficas de superficie de interacción de Potencia a 80% de carga a 3000 RPM.....	114
Gráficas de superficie de interacción de CO a 80% de carga a 3000 RPM.....	115
Gráficas de superficie de interacción de CO a 100% de carga a 3000 RPM.....	115
Gráficas de superficie de interacción de CO a 100% de carga a 2000 RPM.....	116
Gráficas de superficie de interacción de CO a 80% de carga a 2000 RPM.....	116
Gráficas de superficie de interacción de Fuerza tractora a 80% de carga a 2000 RPM	117
Gráficas de superficie de interacción de Fuerza tractora a 100% de carga a 3000 RPM	117
.....	
Gráficas de superficie de interacción de Fuerza tractora a 100% de carga a 2000 RPM	118
.....	
Gráficas de superficie de interacción de material particulado a 100% de carga a 2000 RPM	118
.....	
Gráficas de superficie de interacción de HC a 100% de carga a 2000 RPM.....	119
Gráficas de superficie de interacción de HC a 100% de carga a 3000 RPM.....	119
Gráficas de superficie de interacción de HC a 80% de carga a 3000 RPM.....	120
Gráficas de superficie de interacción de HC a 80% de carga a 3000 RPM.....	120
Variables de control	121
Temperatura del aceite	121
Temperatura del diésel	121
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	122
Optimización de mapas de la ECU	122
Optimización 1	122
Optimización 2.....	123
Optimización 3.....	124
Optimización 4.....	126
Resultados de optimizaciones	128
Resultados Optimización a 2000 RPM a 80% y 100% de carga	128
Resultados Optimización a 3000 RPM a 80% y 100% de carga	130
Resultados Optimización a 2000 y 3000 RPM a 80% y 100% de carga	131
Resultados Optimización escalonada a regímenes de 2000 3000 a 2000 y 3000 RPM a 80% y 100% de carga	132
Predicción de resultados mediante software	135
Comparación datos predichos mediante software y reales	135
Optimización 1	135
Optimización 2.....	137
Optimización 3.....	138

Optimización 4.....	139
Resultados finales	141
CONCLUSIONES	142
RECOMENDACIONES.....	144
Lista de referencias	145
ANEXOS	147
Presión Diesel 80% de carga a 2000 RPM	147
Presión Diesel 100% de carga a 2000 RPM	148
Presión Diesel 80% de carga a 3000 RPM	149
Presión Diesel 100% de carga a 3000 RPM	150
Presión Turbo 80% de carga a 2000 RPM.....	151
Presión Turbo 100% de carga a 2000 RPM.....	152
Presión Turbo 80% de carga a 3000 RPM.....	153
Presión Turbo 100% de carga a 3000 RPM.....	154

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Rudolf Diesel	20
Ilustración 2 Motor Diesel	21
Ilustración 3 Cuenca, Ecuador, ciudad donde se lleva a cabo el trabajo	22
Ilustración 4 Reprogramación mediante BDM	22
Ilustración 5 Puerto OBD2.....	23
Ilustración 6 Modificación de mapas en software	24
Ilustración 7 Menú de opciones KESS v2	25
Ilustración 8 Ciclo de Deming	26
Ilustración 9 Etapas del diseño experimental.....	27
Ilustración 10 Hyundai Getz 1.5 CRDI.....	30
Ilustración 11 Módulo reprogramador por OBDII	32
Ilustración 12 Software de modificación de datos	32
Ilustración 13 Banco dinamométrico	33
Ilustración 14 Analizador de gases	34
Ilustración 15 Especificación del Opacímetro MAHA MET 6.2	34
Ilustración 16 Opacímetro MAHA MET 6.2	34
Ilustración 17 Multímetro con pirómetro.....	35
Ilustración 18 Hyundai Getz en banco dinamométrico MAHA	35
Ilustración 19 Hyundai Getz en banco dinamométrico MAHA	36
Ilustración 20 Resultados del vehículo Hyundai Getz estándar.....	36
Ilustración 21 ECU Hyundai Getz 1.5 CRDI.....	37
Ilustración 22 ID de la ECU Hyundai Getz 1.5 CRDI.....	37
Ilustración 23 Datos ECU Hyundai Getz 1.5 CRDI	37
Ilustración 24 Mapa de inyección basado en el TPS ECU Hyundai Getz 1.5 CRDI	38
Ilustración 25 Mapa de presión del riel ECU Hyundai Getz 1.5 CRDI.....	38
Ilustración 26 Mapa de presión de turbo ECU Hyundai Getz 1.5 CRDI.....	39
Ilustración 27 Conexión OBD2 del dispositivo KESS v2	39
Ilustración 28 Conexión USB del dispositivo KESS v2.....	39
Ilustración 29 Software del dispositivo KESS v2.....	40

Ilustración 30 Menú de selección del vehículo del software del dispositivo KESS v2	40
Ilustración 31 Proceso de lectura de ECU del software del dispositivo KESS v2	40
Ilustración 32 Archivo de la ECU guardado en la PC	41
Ilustración 33 Lista de mapas disponibles para modificación	44
Ilustración 34 tabla de valores de un mapa	44
Ilustración 35 incremento porcentual a tabla de datos de mapas	45
Ilustración 36 Datos del banco dinamométrico durante prueba de RPM constante	45
Ilustración 37 Datos de prueba a 2000 RPM	46
Ilustración 38 Datos obtenidos con el escáner CARMAN SCAN Lite OBD2.....	47
Ilustración 39 Analizador de gases	48
Ilustración 40 Opacímetro MAHA MET 6.2.....	48
Ilustración 41 Diagrama de Pareto Potencia 80% a 2000 RPM	49
Ilustración 42 Diagrama de Pareto Potencia 100% a 2000 RPM	50
Ilustración 43 Diagrama de Pareto Potencia 80% a 3000 RPM	51
Ilustración 44 Diagrama de Pareto Potencia 100% a 3000 RPM	52
Ilustración 45 Diagrama de Pareto CO 80% a 2000 RPM.....	53
Ilustración 46 Diagrama de Pareto CO 100% a 2000 RPM.....	54
Ilustración 47 Diagrama de Pareto CO 80% a 3000 RPM.....	55
Ilustración 48 Diagrama de Pareto CO 100% a 3000 RPM.....	56
Ilustración 49 Diagrama de Pareto O2 80% a 2000 RPM	57
Ilustración 50 Diagrama de Pareto O2 100% a 2000 RPM	58
Ilustración 51 Diagrama de Pareto O2 80% a 3000 RPM	59
Ilustración 52 Diagrama de Pareto O2 100% a 3000 RPM	60
Ilustración 53 Diagrama de Pareto PPMC 80% a 2000 RPM	61
Ilustración 54 Diagrama de Pareto PPMC 100% a 2000 RPM	62
Ilustración 55 Diagrama de Pareto PPMC 80% a 3000 RPM	63
Ilustración 56 Diagrama de Pareto PPMC 100% a 3000 RPM	64
Ilustración 57 Diagrama de Pareto Par motor 80% a 2000 RPM	65
Ilustración 58 Diagrama de Pareto Par motor 100% a 2000 RPM	66
Ilustración 59 Diagrama de Pareto Par motor 80% a 3000 RPM	67
Ilustración 60 Diagrama de Pareto Par motor 100% a 3000 RPM	68
Ilustración 61 Diagrama de Pareto HC 80% a 2000 RPM.....	69
Ilustración 62 Diagrama de Pareto HC 100% a 2000 RPM.....	70
Ilustración 63 Diagrama de Pareto HC 80% a 3000 RPM.....	71
Ilustración 64 Diagrama de Pareto HC 100% a 3000 RPM.....	72
Ilustración 65 Diagrama de Pareto Nox 80% a 2000 RPM	73
Ilustración 66 Diagrama de Pareto NOx 100% a 2000 RPM	74
Ilustración 67 Diagrama de Pareto NOx 80% a 3000 RPM	75
Ilustración 68 Diagrama de Pareto NOx 100% a 3000 RPM	76
Ilustración 69 Diagrama de Pareto Cantidad de diésel 80% a 2000 RPM.....	77
Ilustración 70 Diagrama de Pareto Cantidad de diésel 100% a 2000 RPM.....	78
Ilustración 71 Diagrama de Pareto Cantidad de diésel 80% a 3000 RPM.....	79
Ilustración 72 Diagrama de Pareto Cantidad de diésel 100% a 3000 RPM.....	80
Ilustración 73 Diagrama de Pareto Fuerza tractora 80% a 2000 RPM	81
Ilustración 74 Diagrama de Pareto Fuerza tractora 100% a 2000 RPM	82
Ilustración 75 Diagrama de Pareto Fuerza tractora 80% a 3000 RPM	83
Ilustración 76 Diagrama de Pareto Fuerza tractora 100% a 3000 RPM	84
Ilustración 77 Diagrama de Pareto CO2 80% a 2000 RPM.....	85
Ilustración 78 Diagrama de Pareto CO2 100% a 2000 RPM.....	86
Ilustración 79 Diagrama de Pareto CO2 80% a 3000 RPM.....	87

Ilustración 80 Diagrama de Pareto CO2 100% a 3000 RPM.....	88
Ilustración 81 Gráfica de efectos principales para Par motor 80% a 2000 RPM	89
Ilustración 82 Gráfica de efectos principales para Par motor 100% a 2000 RPM	90
Ilustración 83 Gráfica de efectos principales para Par motor 80% a 3000 RPM	91
Ilustración 84 Gráfica de efectos principales para Par motor 100% a 3000 RPM	92
Ilustración 85 Gráfica de efectos principales para Potencia 80% a 2000 RPM.....	93
Ilustración 86 Gráfica de efectos principales para Potencia 100% a 2000 RPM.....	94
Ilustración 87 Gráfica de efectos principales para Potencia 80% a 3000 RPM.....	95
Ilustración 88 Gráfica de efectos principales para Potencia 100% a 3000 RPM.....	96
Ilustración 89 Gráfica de efectos principales para NOx 80% a 2000 RPM.....	97
Ilustración 90 Gráfica de efectos principales para NOx 100% a 2000 RPM.....	98
Ilustración 91 Gráfica de efectos principales para NOx 80% a 3000 RPM.....	99
Ilustración 92 Gráfica de efectos principales para NOx 100% a 3000 RPM.....	100
Ilustración 93 Gráfica de efectos principales para material particulado 80% a 2000 RPM ..	101
Ilustración 94 Gráfica de efectos principales para material particulado 80% a 2000 RPM ..	102
Ilustración 95 Gráfica de efectos principales para material particulado 80% a 3000 RPM ..	103
Ilustración 96 Gráfica de efectos principales para material particulado 100% a 3000 RPM	104
Ilustración 97 Gráfica de efectos principales para Fuerza tractora 80% a 2000 RPM	105
Ilustración 98 Gráfica de efectos principales para Fuerza tractora 100% a 2000 RPM	106
Ilustración 99 Gráfica de efectos principales para Fuerza tractora 80% a 3000 RPM	107
Ilustración 100 Gráfica de efectos principales para Fuerza tractora 100% a 3000 RPM	108
Ilustración 101 Gráfica de efectos principales para CO 80% a 2000 RPM.....	109
Ilustración 102 Gráfica de efectos principales para CO 100% a 2000 RPM.....	110
Ilustración 103 Gráfica de efectos principales para CO 80% a 3000 RPM.....	111
Ilustración 104 Gráfica de efectos principales para CO 100% a 3000 RPM.....	112
Ilustración 105 Gráfica superficie de Potencia 100% a 2000 RPM.....	113
Ilustración 106 Gráfica superficie de Potencia 80% a 2000 RPM.....	113
Ilustración 107 Gráfica superficie de Potencia 100% a 3000 RPM.....	114
Ilustración 108 Gráfica superficie de Potencia 80% a 3000 RPM.....	114
Ilustración 109 Gráfica superficie del CO 80% a 3000 RPM.....	115
Ilustración 110 Gráfica superficie del CO 100% a 3000 RPM.....	115
Ilustración 111 Gráfica superficie del CO 100% a 2000 RPM.....	116
Ilustración 112 Gráfica superficie del CO 80% a 2000 RPM.....	116
Ilustración 113 Gráfica superficie de fuerza tractora 80% a 2000 RPM	117
Ilustración 114 Gráfica superficie de fuerza tractora 100% a 3000 RPM	117
Ilustración 115 Gráfica superficie de fuerza tractora 100% a 2000 RPM	118
Ilustración 116 Gráfica superficie de material particulado 100% a 2000 RPM	118
Ilustración 117 Gráfica superficie de HC 100% a 2000 RPM.....	119
Ilustración 118 Gráfica superficie de HC 100% a 3000 RPM.....	119
Ilustración 119 Gráfica superficie de HC 80% a 3000 RPM.....	120
Ilustración 120 Gráfica superficie de HC 80% a 3000 RPM.....	120
Ilustración 121 Gráfica de dispersión de temperatura del aceite	121
Ilustración 122 Gráfica de dispersión de temperatura del diésel	122
Ilustración 123 Medición final de potencia con la optimización 4 en el banco dinamométrico	141
Ilustración 124: Diagrama de Pareto Presión Diesel 80% a 2000 RPM.....	147
Ilustración 125: Diagrama de Pareto Presión Diesel 100% a 2000 RPM.....	148
Ilustración 126: Diagrama de Pareto Presión Diesel 80% a 3000 RPM.....	149
Ilustración 127: Diagrama de Pareto Presión Diesel 100% a 3000 RPM.....	150
Ilustración 128: Diagrama de Pareto presión de turbo 80% a 2000 RPM.....	151

Ilustración 129: Diagrama de Pareto presión de turbo 100% a 2000 RPM.....	152
Ilustración 130: Diagrama de Pareto presión de turbo 80% a 3000 RPM.....	153
Ilustración 131: Diagrama de Pareto presión de turbo 100% a 3000 RPM.....	154

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tabla de variables de respuesta Fuente: Autores.....	28
Tabla 2 Tabla de variables de estudio Fuentes: Autores.....	29
Tabla 3 Tabla de variables de bloqueo Fuentes: Autores	29
Tabla 4 Tabla de variables de Ruido Fuentes: Autores	30
Tabla 5 Tabla de datos del vehículo	31
Tabla 6 Tabla de valores analizados por el Analizador de gases.....	33
Tabla 7 Creación diseño Box-Behnken	42
Tabla 8 Porcentajes de aumento en cada mapa para la reprogramación.....	43
Tabla 9 Coeficientes codificados Potencia 80% a 2000 RPM.....	49
Tabla 10 Coeficientes codificados Potencia 100% a 2000 RPM.....	50
Tabla 11 Coeficientes codificados Potencia 80% a 3000 RPM.....	51
Tabla 12 Coeficientes codificados Potencia 100% a 3000 RPM.....	52
Tabla 13 Coeficientes codificados CO 80% a 2000 RPM.....	53
Tabla 14 Coeficientes codificados CO 100% a 2000 RPM.....	54
Tabla 15 Coeficientes codificados CO 80% a 3000 RPM.....	55
Tabla 16 Coeficientes codificados CO 100% a 3000 RPM.....	56
Tabla 17 Coeficientes codificados O2 80% a 2000 RPM.....	57
Tabla 18 Coeficientes codificados O2 100% a 2000 RPM.....	58
Tabla 19 Coeficientes codificados O2 80% a 3000 RPM.....	59
Tabla 20 Coeficientes codificados O2 100% a 3000 RPM.....	60
Tabla 21 Coeficientes codificados PPMC 80% a 2000 RPM.....	61
Tabla 22 Coeficientes codificados PPMC 100% a 2000 RPM.....	62
Tabla 23 Coeficientes codificados PPMC 80% a 3000 RPM.....	63
Tabla 24 Coeficientes codificados PPMC 100% a 3000 RPM.....	64
Tabla 25 Coeficientes codificados Par motor 80% a 2000 RPM.....	65
Tabla 26 Coeficientes codificados Par motor 100% a 2000 RPM.....	66
Tabla 27 Coeficientes codificados Par motor 80% a 3000 RPM.....	67
Tabla 28 Coeficientes codificados Par motor 100% a 3000 RPM.....	68
Tabla 29 Coeficientes codificados HC 80% a 2000 RPM.....	69
Tabla 30 Coeficientes codificados HC 100% a 2000 RPM.....	70
Tabla 31 Coeficientes codificados HC 80% a 3000 RPM.....	71
Tabla 32 Coeficientes codificados HC 100% a 3000 RPM.....	72
Tabla 33 Coeficientes codificados Nox 80% a 2000 RPM.....	73
Tabla 34 Coeficientes codificados NOx 100% a 2000 RPM.....	74
Tabla 35 Coeficientes codificados NOx 80% a 3000 RPM.....	75
Tabla 36 Coeficientes codificados NOx 100% a 3000 RPM.....	76
Tabla 37 Coeficientes codificados Cantidad de diésel 80% a 2000 RPM.....	77
Tabla 38 Coeficientes codificados Cantidad de diésel 100% a 2000 RPM.....	78
Tabla 39 Coeficientes codificados Cantidad de diésel 80% a 3000 RPM.....	79
Tabla 40 Coeficientes codificados Cantidad de diésel 100% a 3000 RPM.....	80
Tabla 41 Coeficientes codificados Fuerza tractora 80% a 2000 RPM	81
Tabla 42 Coeficientes codificados Fuerza tractora 100% a 2000 RPM	82
Tabla 43 Coeficientes codificados Fuerza tractora 80% a 3000 RPM	83
Tabla 44 Coeficientes codificados Fuerza tractora 100% a 3000 RPM	84
Tabla 45 Coeficientes codificados CO2 80% a 2000 RPM.....	85

Tabla 46 Coeficientes codificados CO2 100% a 2000 RPM.....	86
Tabla 47 Coeficientes codificados CO2 80% a 3000 RPM.....	87
Tabla 48 Coeficientes codificados CO2 100% a 3000 RPM.....	88
Tabla 49 Tabla de parámetros a optimizar de la optimización #1	123
Tabla 50 Tabla de optimización #1 para los mapas de la ECU	123
Tabla 51 Tabla de parámetros a optimizar de la optimización #2	124
Tabla 52 Tabla de optimización #2 para los mapas de la ECU	124
Tabla 53 Tabla de parámetros a optimizar de la optimización #3	125
Tabla 54 Tabla de optimización #3 para los mapas de la ECU	126
Tabla 55 Tabla de parámetros a optimizar de la optimización #4	126
Tabla 56 Tabla de optimización #4 para los mapas de la ECU	127
Tabla 57 Tabla de resultados de la optimización #1 @ 2000 rpm y 100% de carga.....	128
Tabla 58 Tabla de resultados de la optimización #1 @ 2000 rpm y 80% de carga.....	128
Tabla 59 Tabla de resultados de la optimización #1 @ 3000 rpm y 100% de carga.....	129
Tabla 60 Tabla de resultados de la optimización #1 @ 3000 rpm y 80% de carga.....	129
Tabla 61 Tabla de resultados de la optimización #2 @ 2000 rpm y 100% de carga.....	130
Tabla 62 Tabla de resultados de la optimización #2 @ 2000 rpm y 80% de carga.....	130
Tabla 63 Tabla de resultados de la optimización #2 @ 3000 rpm y 100% de carga.....	130
Tabla 64 Tabla de resultados de la optimización #2 @ 3000 rpm y 100% de carga.....	131
Tabla 65 Tabla de resultados de la optimización #3 @ 2000 rpm y 100% de carga.....	131
Tabla 66 Tabla de resultados de la optimización #3 @ 2000 rpm y 80% de carga.....	131
Tabla 67 Tabla de resultados de la optimización #3 @ 3000 rpm y 100% de carga.....	132
Tabla 68 Tabla de resultados de la optimización #3 @ 3000 rpm y 80% de carga.....	132
Tabla 69 Tabla de resultados de la optimización #4 @ 2000 rpm y 100% de carga.....	132
Tabla 70 Tabla de resultados de la optimización #4 @ 2000 rpm y 80% de carga.....	133
Tabla 71 Tabla de resultados de la optimización #4 @ 3000 rpm y 100% de carga.....	133
Tabla 72 Tabla de resultados de la optimización #4 @ 3000 rpm y 80% de carga.....	133
Tabla 73 Tabla de resultados del mapa original @ 2000 rpm y 100% de carga	134
Tabla 74 Tabla de resultados del mapa original @ 2000 rpm y 80% de carga	134
Tabla 75 Tabla de resultados del mapa original @ 3000 rpm y 100% de carga	134
Tabla 76 Tabla de resultados del mapa original @ 3000 rpm y 80% de carga	135
Tabla 77 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 1 @ 2000 rpm y 100% de carga.....	135
Tabla 78 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 1 @ 2000 rpm y 80% de carga.....	136
Tabla 79 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 1 @ 3000 rpm y 100% de carga.....	136
Tabla 80 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 1 @ 3000 rpm y 80% de carga.....	136
Tabla 81 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 2 @ 2000 rpm y 100% de carga.....	137
Tabla 82 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 2 @ 2000 rpm y 80% de carga.....	137
Tabla 83 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 2 @ 3000 rpm y 100% de carga.....	137
Tabla 84 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 2 @ 3000 rpm y 80% de carga.....	138
Tabla 85 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 3 @ 2000 rpm y 100% de carga.....	138

Tabla 86 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 3 @ 2000 rpm y 80% de carga.....	138
Tabla 87 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 3 @ 3000 rpm y 100% de carga.....	139
Tabla 88 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 3 @ 3000 rpm y 80% de carga.....	139
Tabla 89 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 4 @ 2000 rpm y 100% de carga.....	139
Tabla 90 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 4 @ 2000 rpm y 80% de carga.....	140
Tabla 91 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 4 @ 3000 rpm y 100% de carga.....	140
Tabla 92 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 4 @ 3000 rpm y 80% de carga.....	140
Tabla 93: Coeficientes codificados Presión Diesel 80% a 2000 RPM	147
Tabla 94: Coeficientes codificados Presión Diesel 100% a 2000 RPM	148
Tabla 95: Coeficientes codificados Presión Diesel 80% a 3000 RPM	149
Tabla 96: Coeficientes codificados Presión Diesel 100% a 3000 RPM	150
Tabla 97: Coeficientes codificados presión de turbo 80% a 2000 RPM	151
Tabla 98: Coeficientes codificados presión de turbo 100% a 2000 RPM	152
Tabla 99: Coeficientes codificados presión de turbo 80% a 3000 RPM	153
Tabla 100: Coeficientes codificados presión de turbo 100% a 3000 RPM	154

INTRODUCCIÓN

(Lapuerta M, 2006) Los vehículos a nivel del mar funcionan a una cierta presión y temperatura atmosférica, la misma que propicia una mayor cantidad de oxígeno en el aire. Es por ello, que la altitud reduce significativamente la potencia y el torque del vehículo en motores atmosféricos, en el caso de los motores turbocargados esta pérdida disminuye y en ciertos casos puede llegar a compensarse por completo a altas RPM.

La presente investigación está enfocada en la optimización de prestaciones del vehículo Hyundai Getz 1.5 CRDI, siendo estos parámetros afectados por la altitud de la ciudad de Cuenca, lugar donde se realizó todas las pruebas de este proyecto. Las mejoras de prestaciones se las obtendrá mediante la modificación de los mapas de inyección por TPS, presión del rail de inyección y presión del turbo. Esto para conseguir una compensación con respecto a la pérdida de potencia y torque causadas por la altitud.

PROBLEMA

Antecedentes

Actualmente en el medio donde se desarrolla el proyecto no existen investigaciones sobre de la influencia de la altitud y la presión atmosférica la eficiencia de los motores de combustión interna sobre, en estudios previos realizados en bancos dinamométrico de potencia de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. En los resultados preliminares dieron una pérdida de alrededor del 5% de potencia efectiva en un motor Diesel sobre alimentado, se supone que una de las causas podría ser la influencia de la altitud, por ende, la presión atmosférica, lo cual propicia una menor cantidad de oxígeno en el volumen de aire consumido por el motor. Ocasionando que el vehículo contamine más el ambiente, tenga un gasto mayor de combustible al descrito por el fabricante y una pérdida de potencia y torque especialmente en pendientes. A pesar de que el vehículo seleccionado es sobre alimentado aún se tiene un

margen de pérdida de potencia y torque, el cual se reducirá junto con el consumo de combustible y las emisiones contaminantes, por lo tanto, esta investigación se centra en la solución de estos problemas.

Importancia y alcance

Este proyecto tiene como objetivo la optimización de un motor de combustión interna sin la necesidad de modificaciones físicas y costosas; ya que mediante reprogramaciones de software se puede obtener un vehículo más eficiente, apto para la ciudad de Cuenca, la cual cuenta con una topografía muy variada y una altitud elevada.

Delimitación

El presente proyecto está enfocado en la ciudad de Cuenca la cual se encuentra aproximadamente a 2500 m.s.n.m., ubicada al sur del Ecuador con las coordenadas 2° 54' 2" sur, 79° 0.272' oeste; con una extensión de 124 kilómetros cuadrados y con una población de 661685 personas.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Optimizar el vehículo Hyundai Getz 1.5 CRDI, mediante la reprogramación de la ECU original vía OBD II, para el incremento de la eficiencia del motor en la ciudad de Cuenca.

Objetivos específicos

- Analizar la mejora de eficiencia del motor Diesel mediante la revisión del estado del arte, para la determinación de los parámetros a modificarse.

- Obtener los mapas originales de la ECU y los datos de las prestaciones principales del vehículo (par y potencia), mediante el uso de un del sistema KESS V2 y el banco dinamométrico de potencia.
- Modificar los mapas del funcionamiento del motor del Hyundai Getz 1.5 CRDI mediante el sistema KESS V2, además realizar pruebas y ajustes de funcionamiento mediante el banco dinamométrico de potencia.
- Analizar los resultados obtenidos de la modificación de los mapas de funcionamiento del motor.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Debido a la geografía de la ciudad de Cuenca, los vehículos tienen a esforzarse mucho más para superar las pendientes que se encuentran en la misma, ya que en las vías más transitadas existen pendientes de hasta el 10%, además de tomar en cuenta que la altitud de la ciudad disminuye considerablemente la eficiencia de todos los vehículos. Respecto al vehículo seleccionado el Hyundai Getz 1.5 CRDI al ser un vehículo sobrealimentado con un turbocompresor, este corrige en cierto punto la pérdida de eficiencia del motor, pero no completamente. Todo lo anterior descrito, nos presenta mayores consumos de combustible y mayores emisiones de gases de efecto invernadero.

Marco teórico

En 1884 Rudolf Diesel inició un proceso de experimentación de motor basándose en una máquina frigorífica. En 1892 Diesel declaró la patente de su motor, pero no fue hasta el 16 de junio de 1897 que presentó su motor en la Asamblea General de la Asociación de Ingenieros Alemanes. En ese mismo momento se hizo muy famoso y recibió una suma de un millón de dólares por su patente. Después de ese acontecimiento perdió mucho dinero por malas inversiones y terminó quitándose la vida en 1913. Sin embargo, el motor Diesel continuó evolucionando ya que en 1909 L'Orange con firma de Mercedes patentó una modificación de este motor que lo aligeraba bastante, años después Mercedes y Man presentaron motores fabricados en serie para camiones y por último se lo incluiría en vehículos de turismo, para continuar evolucionando.

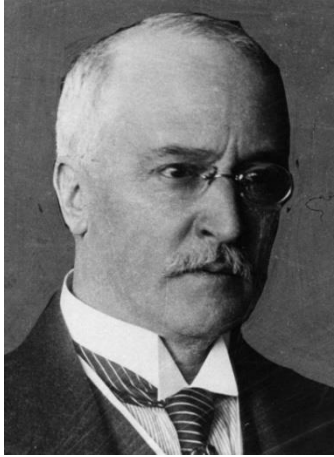


Ilustración 1 Rudolf Diesel

Fuente: (Personajes históricos, 2018)

Motor Diésel

El motor Diesel, nombrado así en honor a su inventor el francés Rudolph Diesel, es un motor de combustión interna de encendido por compresión. La combustión de la mezcla de combustible es provocada por autoignición ya que al interior de la cámara existen muy altas temperaturas generadas por la alta presión en la etapa de compresión del motor. La manera de controlar estos motores es mediante el tiempo de inyección, ya que por la admisión solo entra aire, mientras que el combustible entra directo por los inyectores que pueden estar en el block o en la culata, el tiempo de inyección se refiere al momento en el que se inyecta el combustible en la cámara, siendo un poco antes o un poco después de que el pistón llegue al punto muerto superior. Estos motores utilizan de combustible un gasóleo, destilado del petróleo, la medida de “calidad” de este es el cetano, con este se mide la volatilidad de este mismo. Este combustible deberá ser inyectado a muy alta presión para ser combustionado correctamente, por ello estos motores generalmente tienen 2 bombas de combustible, una que es bomba de paso, ya que lleva el combustible del tanque a la siguiente bomba, la otra bomba es la alta presión, en motores de gestión mecánica, esta bomba también da el orden de inyección, mientras que en las modernas como las del sistema CRDI solamente entregan muy altas presiones.

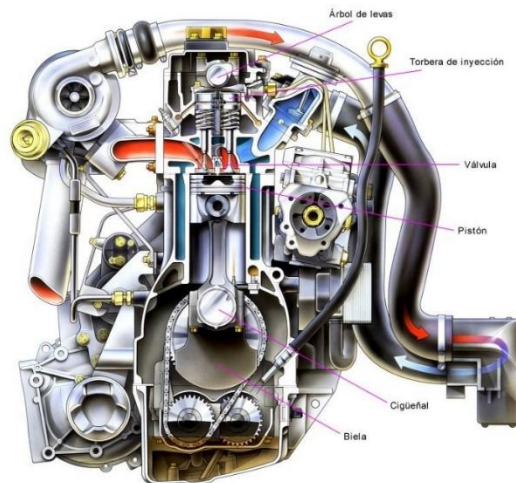


Ilustración 2 Motor Diesel

Fuente: (Ro-Des, 2015)

CRDI

El sistema CRDI es un sistema de inyección usado en motores Diesel. Sus siglas significan Common Rail Direct Injection. Este sistema de inyección Diesel está compuesto de tres subsistemas principales los cuales son: circuito de baja presión, circuito de alta presión y circuito de regulación electrónica Diesel.

El circuito de baja presión está compuesto del tanque de combustible, los conductos de combustible del tanque a la bomba de alta presión, los conductos de retorno de combustible de los inyectores y del rail hacia el tanque de combustible.

El circuito de alta presión está compuesto de la bomba de alta presión, del rail de combustible, de los inyectores y de los conductos de combustible entre estos elementos.

El circuito de regulación electrónica está compuesto de una ECU, sensor TPS, sensor MAP o MAF, sensor IAT, sensor ECT, sensor BOOST, cableado del sistema.

Impacto de la presión atmosférica en los motores

A medida que un motor se aleja del nivel del mar y asciende pierde prestaciones. Esto se debe a que la presión atmosférica es menor y la temperatura atmosférica también disminuye. Esto afecta directamente a la composición y densidad del aire, lo que provoca que el cilindro del vehículo no tenga un llenado eficiente por ende un vehículo menos potente.

- 3a. ciudad del Ecuador
- Ciudad andina (2,500 msnm)
- Patrimonio Cultural de la Humanidad-UNESCO (dic/99).
- Área 310.171 Ha. (área urbana cubre 6% del total)
 - Población (2005): 417.000 hab. (330.000 en ciudad)

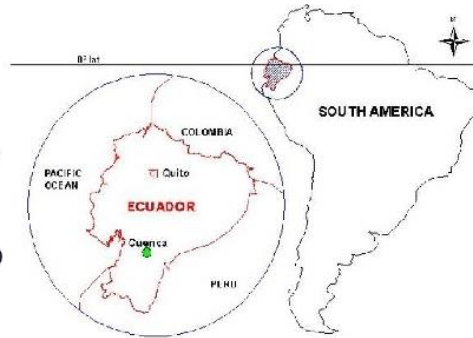


Ilustración 3 Cuenca, Ecuador, ciudad donde se lleva a cabo el trabajo

Fuente: (Carvajal Cristian, 2007)

Reprogramación de ECU originales

La reprogramación de computadoras OEM no es un proceso muy común, ya que este es un proceso costoso y que no todos conocen, para esto hay 2 formas de acceder a los datos de esta:

- Mediante puerto OBD2
- Mediante puerto BDM

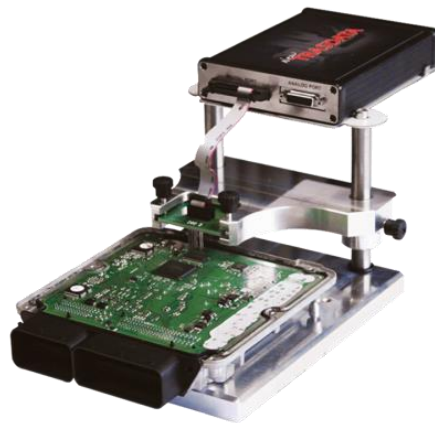


Ilustración 4 Reprogramación mediante BDM

Fuente: (RedNTP, 2021)

Las diferencias entre estos dos modos son bastante grandes, ya que en el caso del puerto BDM se deberá desmontar la ECU y desoldar la conexión de puerto para poder colocar el lector

de mapas, mientras que con el puerto OBD2 solo se deberá conectar el lector en el puerto de diagnóstico del vehículo sin desmontar nada.

El proceso de reprogramación consta de 3 pasos principales, los cuales son:

- Lectura de mapas
- Modificación de mapas
- Escritura de mapas

El proceso de reprogramación consta de 3 pasos principales, los cuales son:

- Lectura de mapas
- Modificación de mapas
- Escritura de mapas

1. Lectura de mapas

Utilizando el método de puerto OBD2, se procederá a conectar el lector de mapas en el puerto de diagnóstico del vehículo y a la computadora, donde deberá estar instalado el programa del lector. Posterior a esto se seleccionan los datos del vehículo como el año y motor, entonces el lector establecerá la comunicación con la computadora para leer los mapas y crear una copia que se guardará en la computadora.

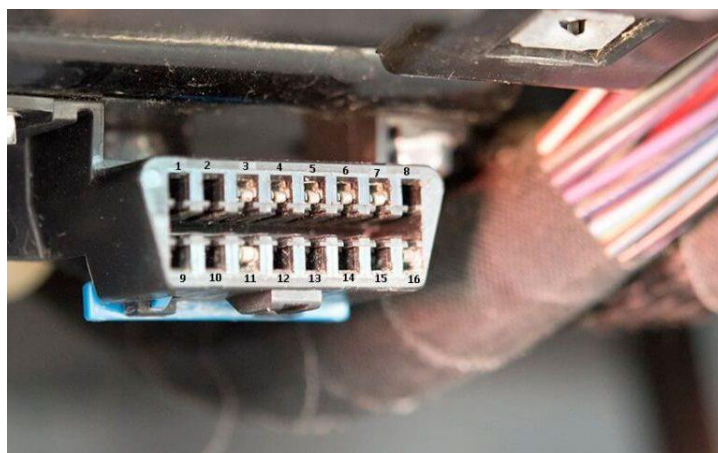


Ilustración 5 Puerto OBD2

Fuente: (Carvajal Cristian, 2007)

2. Modificación de mapas

Una vez el archivo de la memoria de la ECU haya sido guardado en la computadora, se podrá mediante software modificarlo, para ello hay software automotriz que permiten la visualización de los valores de cada mapa de funcionamiento del motor. Estos mapas se podrán observar de diferentes formas, en forma de tablas, gráficos 3D y gráficos 2D.

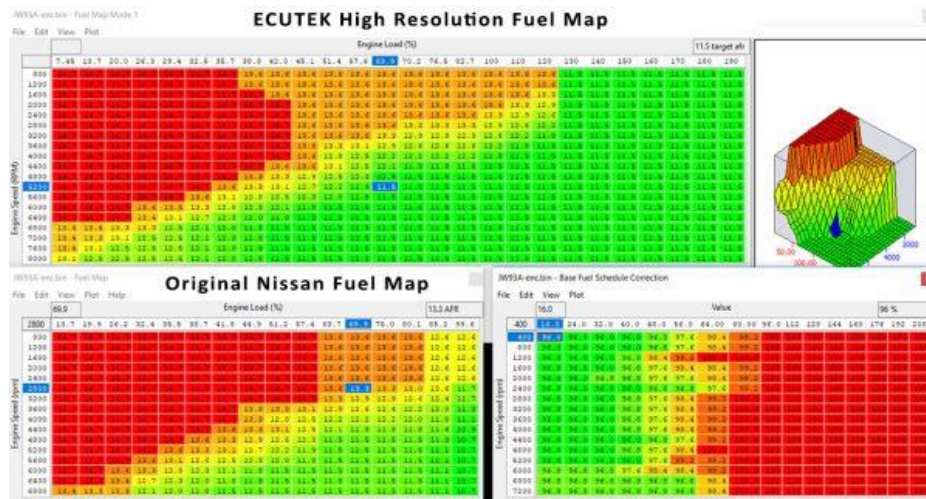


Ilustración 6 Modificación de mapas en software

Fuente: (LitchField Motors, 2019)

3. Escritura de mapas

Al terminar de modificar los parámetros deseados de los mapas se deberá guardar este nuevo archivo para proceder a sobrescribirse en la ECU, para ello se seguirán los mismos pasos que se siguió en la lectura, solo que en el programa se seleccionará la opción escritura. De esta forma la ECU quedará con sus parámetros reprogramados.

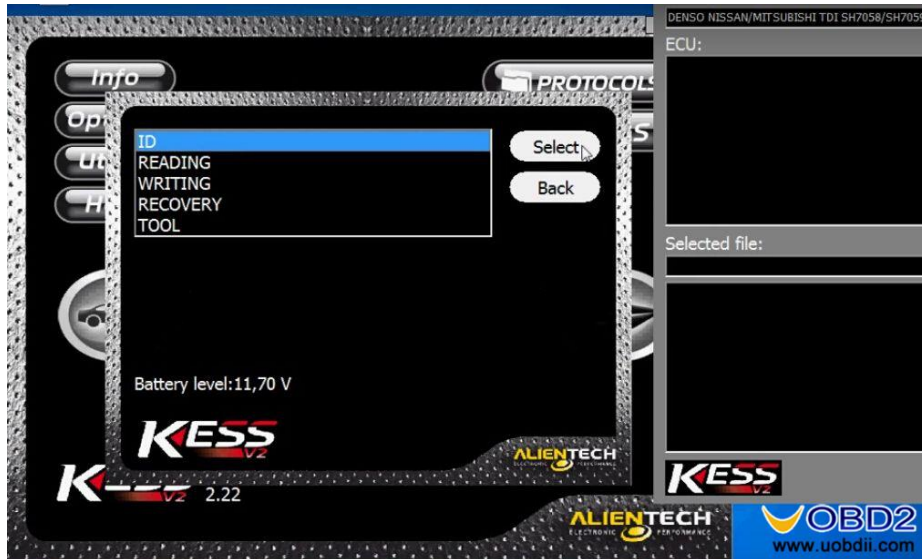


Ilustración 7 Menú de opciones KESS v2

Fuente: (UOBDII, 2017)

MARCO METODOLÓGICO

Aplicación de técnicas para la mejora continua

En el diseño experimental es de suma importancia la mejora continua de la calidad, por este motivo, una de las estrategias más usadas por su efectividad es el ciclo de Deming o ciclo PDCA, el cual se basa en cuatro pasos para obtener una mejora continua y resultados de calidad en una experimentación.



Ilustración 8 Ciclo de Deming

Fuente: (Ingeniería de Calidad, 2020)

El diseño de experimentos permite la comprensión descripción análisis e interpretación y generación de modelos, que explican fenómenos; de la mano con el ciclo de Deming que potencializa procesos y productos, buscando la excelencia se obtiene una experimentación muy precisa y de alta calidad.

Definición del diseño de experimentos

El diseño de experimentos es una técnica muy eficaz y precisa usada en la estadística el cual tiene como objetivo proporcionar información manipulando variables en un estudio

experimental para obtener evidencia que permita la utilización y la mejora del proceso experimental.

Se inicia de la premisa de que los motores de combustión interna funcionan de una manera menos eficiente en altitudes sobre el nivel del mar, como es el caso de la ciudad de Cuenca en la provincia del Azuay, Ecuador. Se plantea un experimento de manipulación de las condiciones del motor (Reprogramación de ECU), con el objetivo de mejorar el desempeño del motor, generando conocimiento por medio del desarrollo de experimentos para así identificar los procesos que se dan al interior del motor y como resultado una mejor y optimización del sistema.

Para iniciar el diseño experimental es necesario identificar un problema que repercute gravemente en el proceso estudiado. Este problema radica en la pérdida de prestaciones y aumento de emisiones contaminantes por parte de los motores de combustión interna cuando sobrepasan significativamente la altura del nivel. Recapitulando se obtiene una disminución de torque y potencia en el motor, además de un aumento notorio en la emisión de gases del tubo de escape.

Con base en el diseño experimental y en el ciclo de mejora continua de Deming se proyecta cuatro etapas para este experimento con la finalidad de obtener resultados de mejora y optimización del sistema.

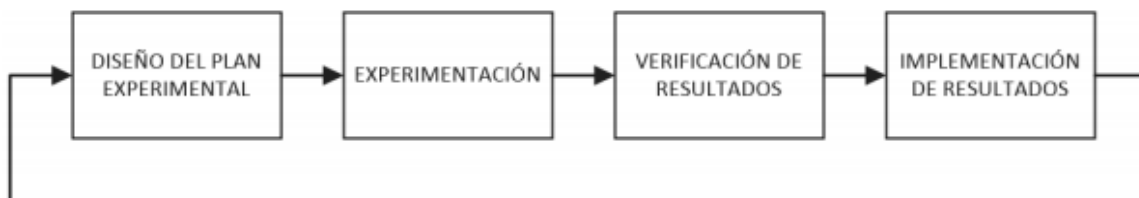


Ilustración 9 Etapas del diseño experimental

Fuente: (Rivera N, 2015)

Diseño y planeación del experimento

Una vez identificado el problema que se requiere solucionar es necesario identificar los factores que inciden en el sistema. El motor de combustión interna Diesel, es una máquina térmica que tiene como objetivo la transformación de combustible (energía química) en un movimiento rotativo (energía mecánica).

Durante este proceso se pueden identificar muchas variables las cuales inciden en el resultado del sistema. Con base en el diseño de experimentos se identifican variables de estudio, variables de bloqueo, variables de ruido y variables de respuesta.

Variables de Respuesta

Estas variables se encuentran a la salida del sistema, por ser el resultado del proceso se busca ajustar estos valores de salida con el objetivo de una mejora continua y una optimización del sistema, en este caso el motor de combustión Diesel.

Variable de respuesta	Símbolo	Unidad
Potencia	P	KW
Fuerza Tractora	F	N
Monóxido de carbono	CO	%
Dióxido de carbono	CO ₂	%
Óxidos nitrosos	NO _x	PPM
Hidrocarburos no combustionados	HC	%
Material particulado	PM	miligramo* m ³
Oxígeno	O ₂	%
Par motor	T	Nm

Tabla 1 Tabla de variables de respuesta

Fuente: Autores

VARIABLES DE ESTUDIO

Este tipo de variables, deben ser de sencilla manipulación e incidir directamente sobre las variables de respuesta, por ende, es necesario que sean dependientes entre sí para evitar problemas durante la realización del experimento. La manera de modificar estas variables en un motor Diesel CRDI, es reprogramando la ECU original del vehículo, mediante un dispositivo electrónico de reprogramación vía OBDII.

VARIABLES DE ESTUDIO	SÍMBOLO	UNIDAD
Presión de turbo	Pt	%
Presión de Riel	Pr	%
Tiempo de Inyección	In	%

Tabla 2 Tabla de variables de estudio

Fuentes: Autores

Las unidades de las variables de estudio están basadas en los parámetros del fabricante del dispositivo de reprogramación, siendo estos valores netamente referenciales y adimensionales.

VARIABLES DE BLOQUEO

También denominadas variables de control, estas se pueden fijar en un rango de operación para evitar que influyan en las variables de salida; por consiguiente, son variables nulas y no se requieren evaluar.

VARIABLES DE BLOQUEO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Temperatura de lubricante de motor	TL	90 - 100	°C
Temperatura de banda de rodadura de neumáticos	TN	45 - 50	°C
Régimen de giro del motor	RPM	2000 y 3000	Rev/min
Carga del motor	Cm	80 y 100	%
Temperatura de refrigerante	TR	92	°C
Presión de neumáticos	PN	30	PSI

Tabla 3 Tabla de variables de bloqueo

Fuentes: Autores

Variables de Ruido

Este tipo de variables tienen una cierta posibilidad de modificar las variables de salida, ya que son muy difíciles de controlar durante la realización del experimento (Ciudad de Cuenca). El objetivo con estas variables es eliminarlas para que las variables de salida sean afectadas de la manera más mínima posible.

VARIABLES DE RUIDO	SÍMBOLO	UNIDAD
Temperatura del ambiente	Ta	°C
Humedad relativa del ambiente	Hr	%
Temperatura del Diesel	Td	°C

Tabla 4 Tabla de variables de Ruido

Fuentes: Autores

Unidad experimental

Esto comprende todos los componentes y elementos que se utilizan para desarrollar el experimento y la obtención de datos:

Vehículo de pruebas

Se utilizó un vehículo marca: Hyundai, modelo: Getz 1.5 CRDI turbo cargado



Ilustración 10 Hyundai Getz 1.5 CRDI

Fuente: (RutaMotor, 2013)

Cilindrada	1493 cc
Transmisión	manual de 5 velocidades
Combustible	Diesel
# de Cilindros	4 en línea
Relación de compresión	17.8:1
Tipo de distribución	DOHC
Válvulas por cilindro	4
Sobrealimentación	Turbocargador
Capacidad del tanque de Diesel	45 litros
Sistema de inyección	CRDI
Potencia máxima	110 hp @ 4000 rpm
Par máximo	215 Nm @ 1900 - 2750 rpm
Ruedas motrices	Delanteras
Consumo	4.5 l/100km

Tabla 5 Tabla de datos del vehículo

Fuente: Manual del fabricante

Módulo electrónico de reprogramación de computadoras

Este módulo basado en OBDII es el encargado de descargar una copia de los mapas originales de la ECU para su modificación, además también es el que carga los mapas a la ECU, de esta forma reescribiendo los originales. Este módulo es una opción no muy invasiva en las reprogramaciones de ECU de serie.



Ilustración 11 Módulo reprogramador por OBDII

Fuente: (GUEMCar, nd)

Software

Para que el módulo pueda ser utilizado se requieren dos programas, el primero es el controlador principal y gestor de carga/descarga de mapas y el segundo es el software encargado de editar los mapas que se obtuvo mediante el módulo, en este software los valores se presentan en forma de tablas y gráficos tridimensionales para su modificación, los mismos que se los presenta como valores representativos más no magnitudes reales.

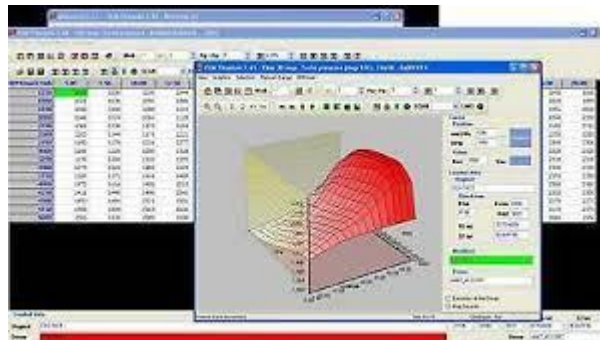


Ilustración 12 Software de modificación de datos

Fuente: (Picclick, nd)

Banco Dinamométrico

El banco dinamométrico que se utilizó para la experimentación es el MAHA LPS-3000, el cual consta de un freno dinamométrico de corrientes parásitas, el cual permite obtener la fuerza tractora y la potencia al mismo tiempo. El banco cuenta con dos pares de rodillos, los cuales se conectan a los frenos para captar par de giro y velocidad; igualmente el banco tiene

una conexión a una consola de sensores, los cuales permiten monitorear los distintos tipos de variables.



Ilustración 13 Banco dinamométrico

Fuente: Fuente: (Rivera N, 2015)

Analizador de Gases

El analizador basa su funcionamiento en el método no dispersivo de absorción de infrarrojos para medir las distintas emisiones, y utiliza celdas electroquímicas para la medición del oxígeno y óxidos nitrosos.

Variable	Símbolo	Rango	Unidad
Monóxido de carbono	CO	0 - 10	%
Hidrocarburos no combustionados	HC	0 - 5000	PPM
Dióxido de carbono	CO ₂	0 - 16	%
Oxígeno	O ₂	0 - 21	%
Óxidos nitrosos	Nox	0 - 5000	PPM
Factor Lambda	λ	0 - 2	-

Tabla 6 Tabla de valores analizados por el Analizador de gases

Fuente: Manual del fabricante



Ilustración 14 Analizador de gases

Fuente: Autores

Opacímetro

Se utiliza el opacímetro MAHA MET 6.2 para determina el particulado emitido por el motor durante las pruebas.

Principio de medición	Extinktionsmessung
Tiempo de calentamiento aprox. de la célula de medición	150 s
Rango de medición concentración de partículas	1 - 1100 mg/m ³
Resolución concentración de partículas	1
Intervalo de medición opacidad	0 - 100 %
Área de medición coeficiente de absorcion	0 - 9,99 m-1
Resolución coeficiente de absorción	0,01 m-1
Tensión de a bordo	10 V / 30 V
Alimentación de corriente	1/N/PE 110 V/230 V 50 Hz/60 Hz
Dimensiones totales (La x An x Al)	406 mm x 225 mm x 160 mm
Peso	4,6 kg

Ilustración 15 Especificación del Opacímetro MAHA MET 6.2

Fuente: Fuente: (MAHA, nd)



Ilustración 16 Opacímetro MAHA MET 6.2

Fuente: (MAHA, nd)

Multímetro con termómetro infrarrojo

Este multímetro por medio de sus terminales puede conectarse a un pirómetro como accesorio, el cual funciona con un infrarrojo, de esta forma haciendo posible la medición de temperatura de la banda de rodadura.



Ilustración 17 Multímetro con pirómetro

Fuente: Autores

Pruebas en el vehículo sin modificaciones en la ECU

El vehículo Hyundai Getz utilizado para este proyecto, fue sometido a la realización de pruebas en el banco dinamométrico MAHA de la Universidad Politécnica Salesiana. Se efectuaron varios ensayos para determinar el par y potencia del vehículo sin ningún tipo de modificación con el fin de poder comparar una vez optimizado los mapas del vehículo.



Ilustración 18 Hyundai Getz en banco dinamométrico MAHA

Fuente: Autores



Ilustración 19 Hyundai Getz en banco dinamométrico MAHA

Fuente: Autores

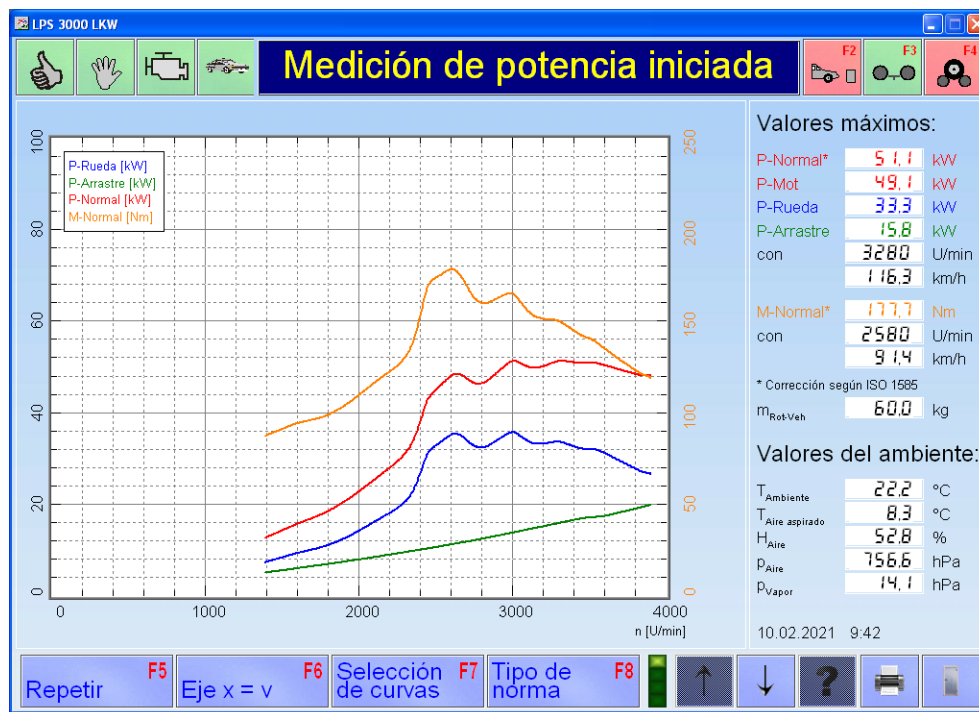


Ilustración 20 Resultados del vehículo Hyundai Getz estándar

Fuente: Autores

Como se puede observar en las ilustraciones la potencia obtenida es de 49.1 Kw @ 3280 rpm y 177.7 Nm @ 2580 rpm en la ciudad de Cuenca, que, aunque se muestran corregidos subiendo la potencia a 51.1 Kw a nivel del mar, pero aun así no llega a la potencia indicada por el fabricante de 82 Kw de potencia y el par 215 Nm.

ECU del vehículo



Ilustración 21 ECU Hyundai Getz 1.5 CRDI

Fuente: Autores



Ilustración 22 ID de la ECU Hyundai Getz 1.5 CRDI

Fuente: Autores

Car				
Hyundai	Getz	1.5CRDI	Turbo-Diesel	110HP MY2006 Manual
ECU				
Brand	Type	Part number	HW number	SW number
BOSCH	EDC16C39	-	-	1037383173
File				
R/W method	Tool	Status	8 bit checksum	Size
OBD	FGTech	Original	7E2E	2048 KB

Ilustración 23 Datos ECU Hyundai Getz 1.5 CRDI

Fuente: (CarFiles, nd)

Extracción de los mapas originales

Posterior a la realización de los ensayos para determinar las prestaciones de vehículo estándar en el banco dinamométrico, se realiza la extracción de los mapas originales del vehículo para poder modificarlos y realizar una optimización. Los mapas que serán modificados en el vehículo son los siguientes:

- Mapa de inyección basado en el TPS
- Mapa de presión del riel
- Mapa de presión del turbo

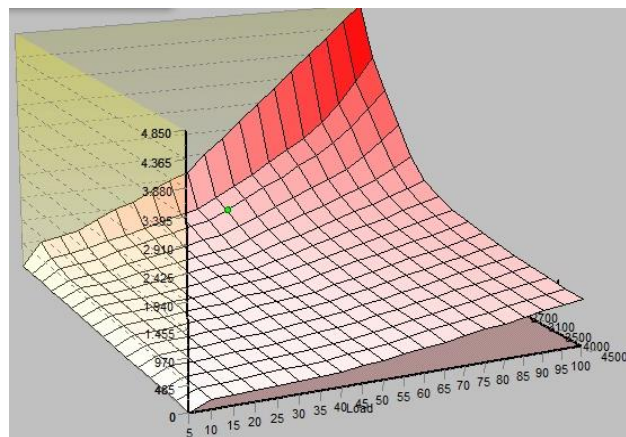


Ilustración 24 Mapa de inyección basado en el TPS ECU Hyundai Getz 1.5 CRDI

Fuente: Autores

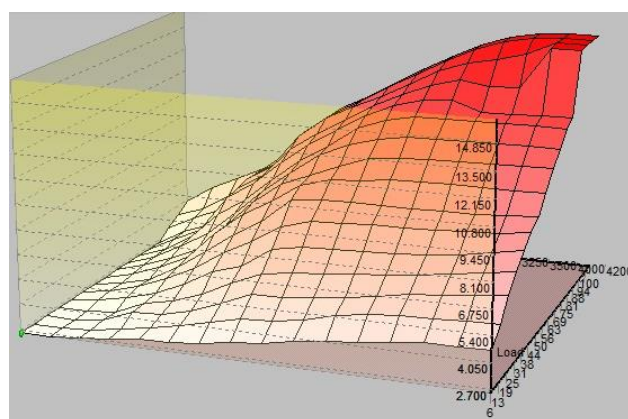


Ilustración 25 Mapa de presión del riel ECU Hyundai Getz 1.5 CRDI

Fuente: Autores

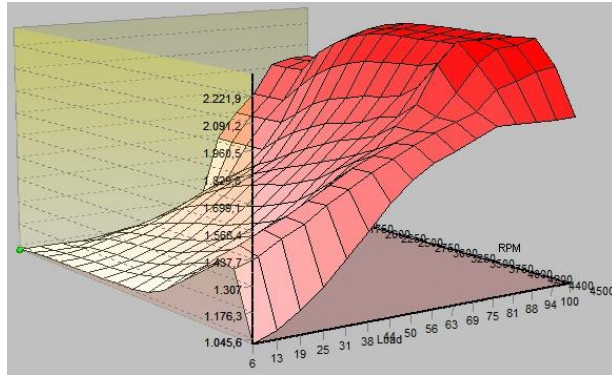


Ilustración 26 Mapa de presión de turbo ECU Hyundai Getz 1.5 CRDI

Fuente: Autores

Proceso de extracción de mapas de la ECU:

- Se conecta el dispositivo mediante obd2.



Ilustración 27 Conexión OBD2 del dispositivo KESS v2

Fuente: Autores

- Se conecta el dispositivo a la computadora.



Ilustración 28 Conexión USB del dispositivo KESS v2

Fuente: Autores

- Se inicia el software del dispositivo.



Ilustración 29 Software del dispositivo KESS v2

Fuente: Autores

- Se selecciona el vehículo.

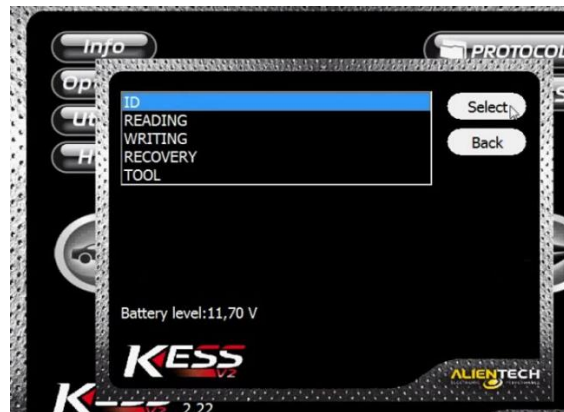


Ilustración 30 Menú de selección del vehículo del software del dispositivo KESS v2

Fuente: Autores

- Se procede a leer los archivos de la ECU.



Ilustración 31 Proceso de lectura de ECU del software del dispositivo KESS v2

Fuente: Autores

- El mapa se guarda en la localización deseada de la computadora.

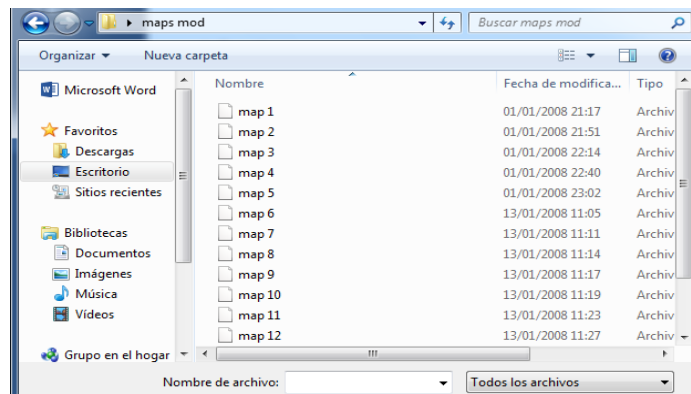


Ilustración 32 Archivo de la ECU guardado en la PC

Fuente: Autores

Modificación de mapas

Para poder reprogramar la ECU del vehículo Hyundai Getz 1.5 Turbo CRDI fue necesario seleccionar los mapas que permitía el dispositivo Kess V2 reprogramar. Los parámetros que tuvo acceso el dispositivo de reprogramación al conectarlo con la ECU del vehículo fueron los siguientes:

- Inyección en la parte del acelerador
- Presión del rail de inyección
- EGR ciclo
- Combustible durante la aceleración
- Presión del turbo
- Overboost
- Limitador de par motor
- Limitador de presión de rail
- Limitador de presión

De todos estos los posibles parámetros a modificar se consideró los que más inciden en el funcionamiento del motor al momento de mejorar prestaciones y disminuir gases

contaminantes. Las variables por modificar son: inyección en la parte del acelerador, presión del rail de inyección y presión del turbo.

Una vez obtenida esta información se determinó la cantidad de reprogramaciones a realizarse teniendo en cuenta el tiempo que toma realizar cada reprogramación y las pruebas que se deben realizar en el banco dinamométrico para obtención de datos.

Para este fin se utilizó un software de estadística llamado Minitab en la cual se introdujo las variables a modificar, la cantidad de combinaciones que se requerían y como resultado Minitab desplegó una lista con 15 reprogramaciones distintas las cuales contenían variaciones de porcentajes en cada una de las variables a modificar; teniendo en cuenta que los valores de 0% hacen referencia a que no existe ninguna modificación con respecto a la reprogramación original del vehículo. El hecho de que Minitab brinde variaciones de valores en porcentaje es ideal ya que en el programa de reprogramación es posible variar todo un mapa con un solo porcentaje, por ejemplo, el mapa de presión de turbo se puede aumentar el 10%.

Para realizar las reprogramaciones se utilizó un diseño Box-Behnken, la configuración fue de la siguiente manera, estableciendo los nombres de los factores de los mapas a reprogramar, y los valores más altos y bajos.

Factor	Nombre	Bajo	Alto
A	Inyección	0	10
B	Rail	0	10
C	Turbo	0	10

Tabla 7 Creación diseño Box-Behnken

Fuente: Autores

Tabla de modificación de mapas

La siguiente tabla muestra los valores porcentuales de aumento para cada mapa en cada una de las reprogramaciones realizadas para llevar a cabo las pruebas en el banco dinamométrico de potencia.

N° de modificación	Inyección por TPS	Presión de Riel	Presión de turbo
1	0	5	0
2	10	5	0
3	10	5	10
4	10	10	5
5	5	10	10
6	5	5	5
7	10	0	5
8	5	10	0
9	5	5	5
10	0	0	5
11	0	5	10
12	5	5	5
13	0	10	5
14	5	0	0
15	5	0	10

Tabla 8 Porcentajes de aumento en cada mapa para la reprogramación

Fuente: Autores

Proceso de reprogramación

Posterior a la elaboración de tablas de parámetros a modificar se deberá crear los mapas con los datos requeridos para la experimentación. Para ello utilizaremos un software dedicado para la modificación de mapas originales con formato .DAT.

En este software se introducirá el archivo original para ser modificado, es muy importante tener guardados varios respaldos de este archivo, una vez el mapa cargado en el software, se procederá a elegir los mapas que previamente se seleccionaron para modificar.

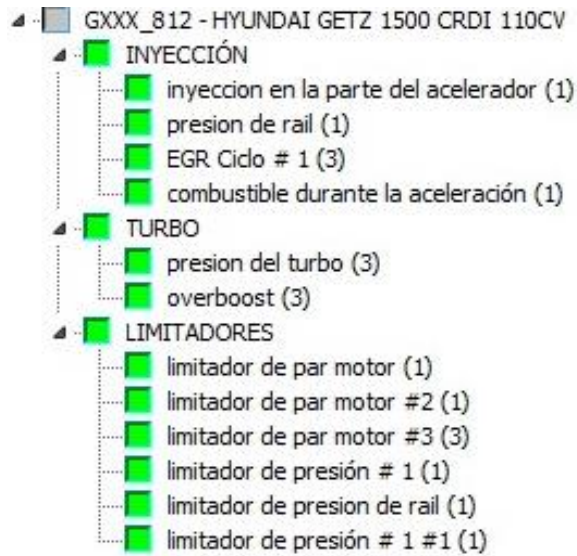


Ilustración 33 Lista de mapas disponibles para modificación

Fuente: Autores

Para cambiar los valores de los mapas, se deberá dar doble clic en el nombre del mapa deseado, una vez hecho esto se abrirá otra ventana donde se encuentran los valores referenciales de comportamiento del motor según Rpm vs Carga.

RPM Load	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
700	0	470	525	620	815	970	1080	1275	1450	1580	1920	2240	2565	2890	3215	3550	3875
800	0	292	332	391	492	581	650	755	845	926	1135	1320	1535	1760	1985	2215	2494
900	0	240	270	330	428	505	582	679	765	840	1025	1212	1395	1575	1772	1965	2190
1000	0	187	214	260	350	412	468	554	628	692	837	985	1132	1282	1445	1595	1763
1100	0	183	205	241	308	372	423	487	540	593	727	858	976	1102	1231	1365	1485
1300	0	181	198	226	281	330	386	449	490	533	645	752	866	978	1090	1200	1303
1500	0	178	193	217	267	303	354	426	459	490	592	693	796	888	990	1085	1181
1700	0	174	187	208	257	284	322	407	439	467	550	642	738	824	911	1003	1090
1900	0	171	184	205	250	275	303	390	424	451	516	601	688	773	847	934	1013
2100	0	170	182	203	246	266	292	372	409	430	489	570	644	721	798	875	952
2400	0	169	181	201	244	261	284	351	394	412	467	546	612	685	756	828	902
2700	0	168	180	200	242	257	278	329	378	397	452	527	586	653	721	790	859
3100	0	169	180	199	239	254	269	311	362	384	437	508	567	630	696	759	826
3500	0	170	181	199	237	250	261	290	346	371	427	488	546	605	667	727	792
4000	0	170	181	199	233	246	257	284	334	360	413	471	531	586	644	698	760
4500	0	172	182	198	228	241	251	274	321	349	400	455	514	564	621	673	735

Ilustración 34 tabla de valores de un mapa

Fuente: Autores

Como previamente se dispuso aumentos porcentuales a los mapas se procederá a aumentar de la misma forma a todos los datos de los 3 mapas a reprogramarse, lo que en total nos deberá dar 15 mapas para la experimentación.

RPM Load	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
700	10,0	10,1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
800	10,0	10,0	10,0	10,0	10,1	10,1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
900	10,0	10,0	10,1	10,0	10,0	10,1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
1000	10,0	10,0	10,0	10,0	9,9	10,0	10,0	10,0	10,1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
1100	10,0	10,1	9,9	9,9	10,1	10,0	9,9	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
1300	10,2	10,0	10,0	10,1	10,0	10,0	9,9	10,1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
1500	10,1	10,1	9,9	9,9	10,1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
1700	10,1	10,1	9,9	9,9	10,1	10,0	10,1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
1900	10,2	10,0	10,2	9,9	10,0	9,9	10,0	10,1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
2100	9,9	10,2	10,2	9,9	9,9	10,0	10,0	10,0	10,0	9,9	10,0	10,0	10,1	10,0	10,0	10,0	10,0
2400	10,0	9,8	10,0	9,9	10,0	9,9	10,0	10,1	10,1	10,0	10,1	10,1	10,1	10,0	10,0	10,0	10,0
2700	10,0	9,9	10,1	10,1	10,0	10,1	10,1	10,0	10,1	10,1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
3100	10,1	10,0	9,8	10,0	10,0	9,9	9,9	10,1	10,0	10,1	10,0	10,1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
3500	10,1	10,1	10,0	10,0	10,0	10,1	10,0	10,1	10,0	10,1	10,1	10,1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
4000	10,1	9,9	10,2	10,1	9,9	9,9	10,0	9,9	10,0	10,0	10,1	9,9	10,0	10,0	10,0	10,1	10,0
4500	10,1	10,1	10,0	10,0	9,9	10,0	10,0	10,0	10,1	9,9	9,9	10,0	10,0	10,1	10,0	10,0	10,1

Ilustración 35 incremento porcentual a tabla de datos de mapas

Fuente: Autores

Una vez modificado los valores del mapa se procederá a guardar como un nuevo archivo, esto se repetirá con los 3 mapas en las 15 reprogramaciones diferentes. Estos mapas se cargan a la ECU mediante el dispositivo KESS V2 mediante el puerto OBD2 y se procede a realizar las pruebas.

Pruebas en el banco dinamométrico

Las pruebas que se realizaron en el banco dinamométrico de potencia, se las hizo a RPM constante, en dos intervalos de RPM y dos de carga del motor, siendo en total 4 pruebas por mapa reprogramado. Son dos pruebas a 2000 Rpm la primera a 100% de carga del motor y la segunda a 80% de carga, esto se repetirá para las pruebas a 3000 Rpm, en total se realizaron 60 pruebas en el banco dinamométrico.



Ilustración 36 Datos del banco dinamométrico durante prueba de RPM constante

Fuente: Autores

Dispositivos utilizados en las pruebas

Los datos que se extrajeron de las siguientes pruebas se obtuvieron de 4 dispositivos:

- Banco dinamométrico
- Escáner OBD2
- Analizador de gases
- Opacímetro

Datos obtenidos del banco dinamométrico

Los datos que se obtuvieron en el banco dinamométrico fueron los siguientes:

- Potencia en KW
- Fuerza tractora
- Temperatura de aceite
- Velocidad



Ilustración 37 Datos de prueba a 2000 RPM

Fuente: Autores

Datos obtenidos del scanner OBD2

Los datos que se obtuvieron del escáner OBD2 fueron los siguientes:

- Cantidad de combustible
- Presión de combustible medida
- Setpoint de presión de combustible
- Temperatura de combustible
- Apertura del TPS
- Presión suministrada por el turbo
- Carga del motor
- Par interno del motor

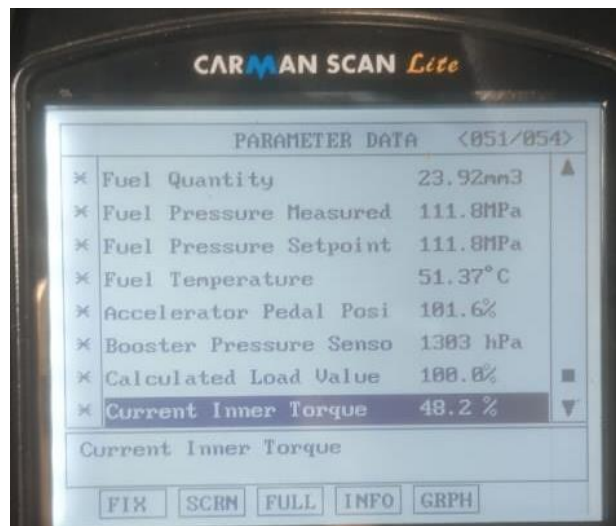


Ilustración 38 Datos obtenidos con el escáner CARMAN SCAN Lite OBD2

Fuente: Autores

Datos obtenidos del Analizador de gases

Los datos que se obtuvo del analizador de gases fueron los siguientes:

- CO
- CO2
- HC
- O2
- NOX



Ilustración 39 Analizador de gases

Fuente: Autores

Datos obtenidos del opacímetro

El opacímetro muestra el material particulado que es emitido por el escape.



Ilustración 40 Opacímetro MAHA MET 6.2

Fuente: Autores

Análisis de variables de salida obtenidas mediante software

Potencia 80% de carga a 2000 RPM

La potencia del vehículo a 80% de carga del motor a 2000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef. Valor T	Valor p	FIV
Constante	7,800	0,302	25,86	0,000
injection	1,875	0,185	10,15	0,000
rail pressure	-0,100	0,185	-0,54	0,612
turbo pressure	-0,200	0,185	-1,08	0,328
injection*injection	0,325	0,272	1,20	0,286
rail pressure*rail pressure	0,075	0,272	0,28	0,794
turbo pressure*turbo pressure	-0,175	0,272	-0,64	0,548
injection*rail pressure	-0,450	0,261	-1,72	0,146
injection*turbo pressure	0,150	0,261	0,57	0,591
rail pressure*turbo pressure	0,100	0,261	0,38	0,718

Tabla 9 Coeficientes codificados Potencia 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

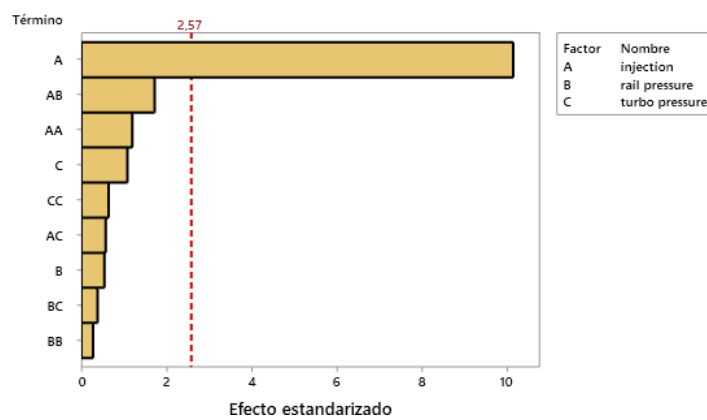


Ilustración 41 Diagrama de Pareto Potencia 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en la potencia generada por el motor es la inyección por TPS, ya que esta tiene un valor p de 0 y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.57.

Potencia 100% de carga a 2000 RPM

La potencia del vehículo a 100% de carga del motor a 2000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef.	Valor T	Valor p
Constante	19,17	1,54	12,43	0,000
injection	3,725	0,944	3,94	0,011
rail pressure	0,912	0,944	0,97	0,378
turbo pressure	-5,087	0,944	-5,39	0,003
injection*injection	4,69	1,39	3,37	0,020
rail pressure*rail pressure	-1,48	1,39	-1,07	0,335
turbo pressure*turbo pressure	-3,88	1,39	-2,79	0,038
injection*rail pressure	-2,18	1,34	-1,63	0,164
injection*turbo pressure	1,47	1,34	1,10	0,320
rail pressure*turbo pressure	0,35	1,34	0,26	0,804

Tabla 10 Coeficientes codificados Potencia 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

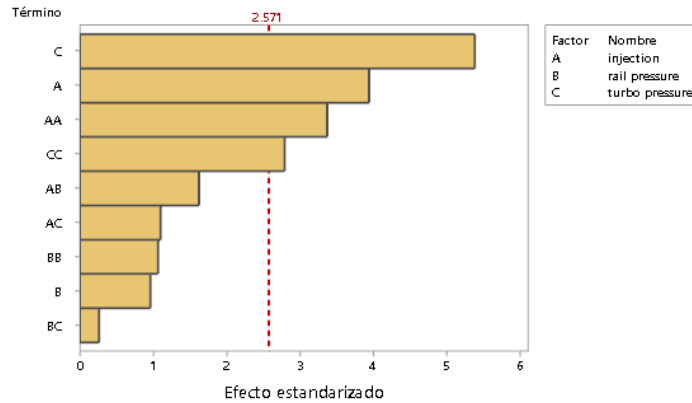


Ilustración 42 Diagrama de Pareto Potencia 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en la potencia generada por el motor es la presión de turbo, seguida en menor grado por la inyección por TPS, proseguido por la inyección por TPS influenciado por la inyección por TPS y en último la presión de turbo influenciado por la presión de turbo, se tiene un valor p de la presión de turbo de 0.003, 0.011 para la inyección por TPS, 0.020 para la inyección por TPS influenciado por la inyección por TPS y 0.038 para la presión de turbo influenciado por la presión de turbo y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.571.

Potencia 80% de carga a 3000 RPM

La potencia del vehículo a 80% de carga del motor a 3000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef. coef.	Valor T	Valor p FIV
Constante	16,900	0,752	22,47	0,000
injection	2,413	0,461	5,24	0,003 1,00
rail pressure	-0,100	0,461	-0,22	0,837 1,00
turbo pressure	1,313	0,461	2,85	0,036 1,00
injection*injection	0,250	0,678	0,37	0,727 1,01
rail pressure*rail pressure	-0,325	0,678	-0,48	0,652 1,01
turbo pressure*turbo pressure	0,700	0,678	1,03	0,349 1,01
injection*rail pressure	-1,025	0,651	-1,57	0,176 1,00
injection*turbo pressure	0,150	0,651	0,23	0,827 1,00
rail pressure*turbo pressure	-0,125	0,651	-0,19	0,855 1,00

Tabla 11 Coeficientes codificados Potencia 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

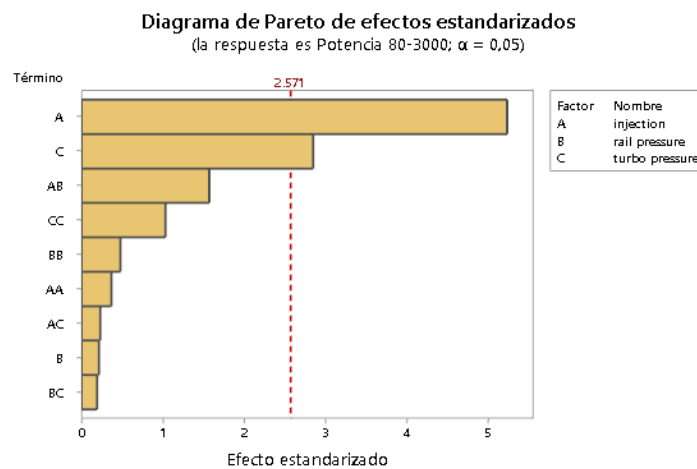


Ilustración 43 Diagrama de Pareto Potencia 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en la potencia generada por el motor es la inyección por TPS, seguida en menor grado por la presión de turbo, ya que se tiene un valor p de la presión de turbo de 0.003 y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.571, los mismo para la inyección, su valor T superando en el diagrama de Pareto el valor de referencia del umbral de significancia, siendo su valor p 0.036.

Potencia 100% de carga a 3000 RPM

La potencia del vehículo a 100% de carga del motor a 3000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef. coef.	Valor T	Valor p
Constante	36,167	0,936	38,64	0,000
injection	3,175	0,573	5,54	0,003
rail pressure	1,275	0,573	2,22	0,077
turbo pressure	-0,475	0,573	-0,83	0,445
injection*injection	1,442	0,844	1,71	0,148
rail pressure*rail pressure	0,242	0,844	0,29	0,786
turbo pressure*turbo pressure	0,592	0,844	0,70	0,514
injection*rail pressure	-0,900	0,811	-1,11	0,317
injection*turbo pressure	-0,200	0,811	-0,25	0,815
rail pressure*turbo pressure	-1,200	0,811	-1,48	0,199

Tabla 12 Coeficientes codificados Potencia 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

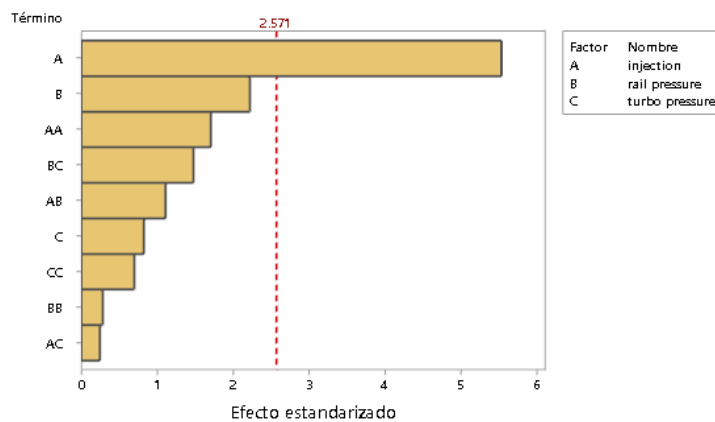


Ilustración 44 Diagrama de Pareto Potencia 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en la potencia generada por el motor es la inyección por TPS, ya que esta tiene un valor p de 0.003 y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.571.

CO 80% de carga a 2000 RPM

El CO medido en el vehículo a 80% de carga del motor a 2000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef.	Valor T	Valor p FIV
Constante	0,01333	0,00333	4,00	0,010
injection	-0,00500	0,00204	-2,45	0,058 1,00
rail pressure	-0,00000	0,00204	-0,00	1,000 1,00
turbo pressure	-0,01250	0,00204	-6,12	0,002 1,00
injection*injection	-0,00042	0,00300	-0,14	0,895 1,01
rail pressure*rail pressure	-0,00042	0,00300	-0,14	0,895 1,01
turbo pressure*turbo pressure	0,00458	0,00300	1,53	0,188 1,01
injection*rail pressure	-0,00750	0,00289	-2,60	0,048 1,00
injection*turbo pressure	-0,00250	0,00289	-0,87	0,426 1,00
rail pressure*turbo pressure	-0,00250	0,00289	-0,87	0,426 1,00

Tabla 13 Coeficientes codificados CO 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

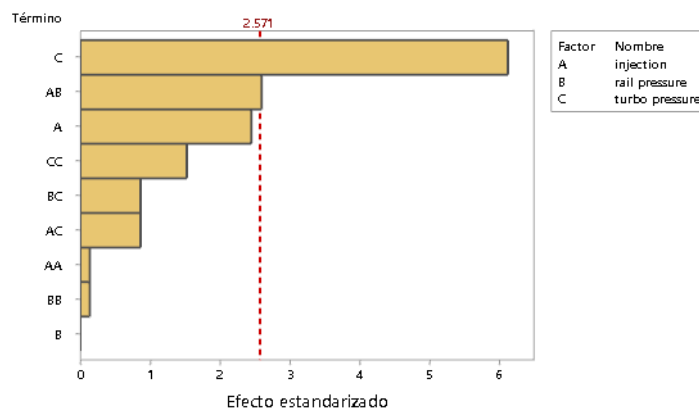


Ilustración 45 Diagrama de Pareto CO 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en las CO generadas por el motor es la presión de turbo, ya que esta tiene un valor p de 0.002, proseguido por la inyección por TPS influenciado por la presión de riel con un valor de p de 0.048, teniendo ambos sus valores T en el diagrama de Pareto sobre el umbral de significancia que es de 2.571.

CO 100% de carga a 2000 RPM

El CO medido en el vehículo a 100% de carga del motor a 2000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef.	Valor T	Valor p
Constante	0,01667	0,00307	5,42	0,003
injection	-0,00625	0,00188	-3,32	0,021
rail pressure	-0,00125	0,00188	-0,66	0,536
turbo pressure	-0,01500	0,00188	-7,97	0,001
injection*injection	-0,00083	0,00277	-0,30	0,776
rail pressure*rail pressure	-0,00583	0,00277	-2,11	0,089
turbo pressure*turbo pressure	0,00667	0,00277	2,41	0,061
injection*rail pressure	-0,00500	0,00266	-1,88	0,119
injection*turbo pressure	0,00250	0,00266	0,94	0,391
rail pressure*turbo pressure	-0,00250	0,00266	-0,94	0,391

Tabla 14 Coeficientes codificados CO 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

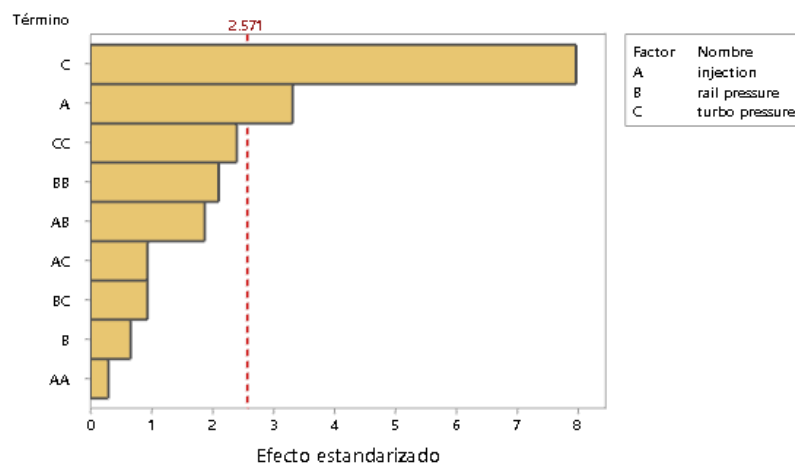


Ilustración 46 Diagrama de Pareto CO 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en las CO generadas por el motor es la presión de turbo, seguida en menor grado por la inyección por TPS, ya que se tiene un valor p de la presión de turbo de 0.001 y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.571, los mismo para la inyección, su valor T superando en el diagrama de Pareto el valor de referencia del umbral de significancia, siendo su valor p 0.021.

CO 80% de carga a 3000 RPM

El CO medido en el vehículo a 80% de carga del motor a 3000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef.	Valor T	Valor p
Constante	0,01000	0,00258	3,87	0,012
injection	-0,00500	0,00158	-3,16	0,025
rail pressure	-0,00000	0,00158	-0,00	1,000
turbo pressure	-0,01250	0,00158	-7,91	0,001
injection*injection	0,00125	0,00233	0,54	0,614
rail pressure*rail pressure	0,00125	0,00233	0,54	0,614
turbo pressure*turbo pressure	0,00625	0,00233	2,69	0,044
injection*rail pressure	-0,00750	0,00224	-3,35	0,020
injection*turbo pressure	-0,00250	0,00224	-1,12	0,314
rail pressure*turbo pressure	-0,00250	0,00224	-1,12	0,314

Tabla 15 Coeficientes codificados CO 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

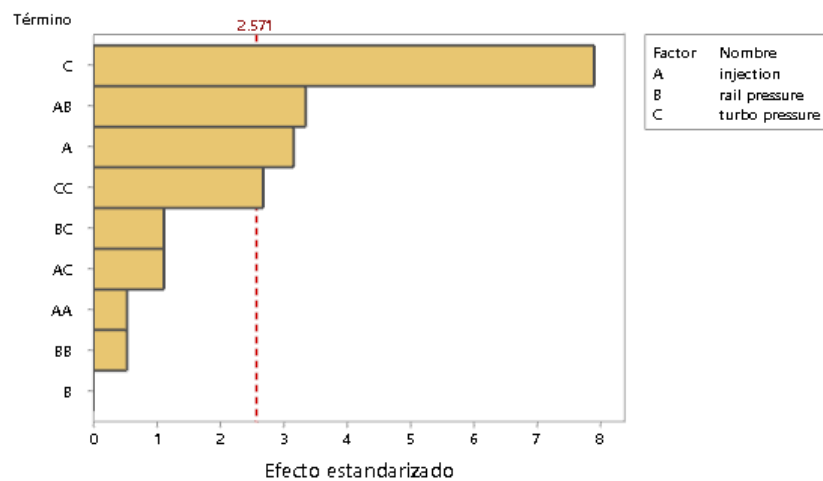


Ilustración 47 Diagrama de Pareto CO 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en las CO generadas por el motor es la presión de turbo, seguida en menor grado por la inyección por TPS influenciada por la presión de riel, proseguido por la inyección por TPS y en último la presión de turbo influenciado por la presión de turbo, se tiene un valor p de la presión de turbo de 0.001, 0.020 para la inyección por TPS

influenciada por la presión de riel, 0.025 para la inyección por TPS y 0.044 para la presión de turbo influenciado por la presión de turbo y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.571.

CO 100% de carga a 3000 RPM

El CO medido en el vehículo a 100% de carga del motor a 3000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del		Valor T	Valor p	FIV
	Coef	coef.			
Constante	0,01333	0,00307	4,34	0,007	
injection	0,00000	0,00188	0,00	1,000	1,00
rail pressure	0,00125	0,00188	0,66	0,536	1,00
turbo pressure	-0,01125	0,00188	-5,98	0,002	1,00
injection*injection	0,00083	0,00277	0,30	0,776	1,01
rail pressure*rail pressure	-0,00167	0,00277	-0,60	0,574	1,01
turbo pressure*turbo pressure	0,00333	0,00277	1,20	0,283	1,01
injection*rail pressure	-0,00250	0,00266	-0,94	0,391	1,00
injection*turbo pressure	-0,00750	0,00266	-2,82	0,037	1,00
rail pressure*turbo pressure	-0,00500	0,00266	-1,88	0,119	1,00

Tabla 16 Coeficientes codificados CO 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

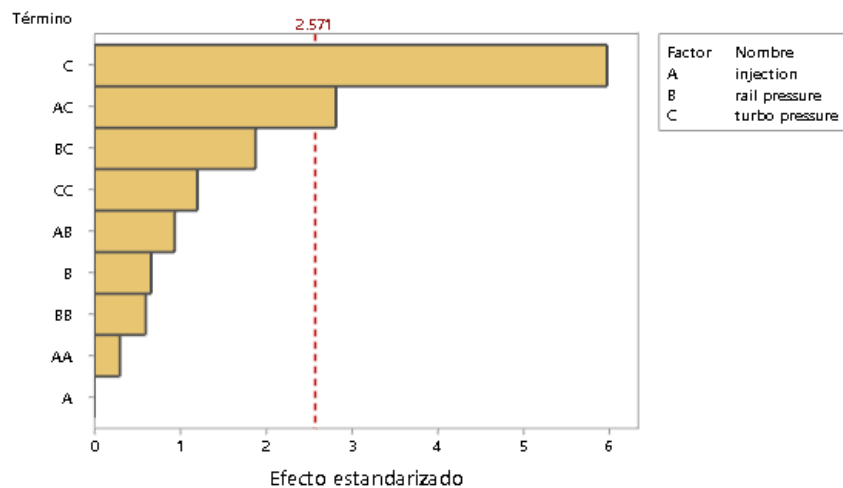


Ilustración 48 Diagrama de Pareto CO 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en las CO generadas por el motor es la presión de turbo, ya que esta tiene un valor p de 0.002, proseguido por la inyección por TPS influenciado por la presión de turbo con un valor de p de 0.037, teniendo ambos sus valores T en el diagrama de Pareto sobre el umbral de significancia que es de 2.571.

O2 80% de carga a 2000 RPM

El O2 medido en el vehículo a 80% de carga del motor a 2000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef.	Valor T	Valor p
Constante	8,130	0,689	11,81	0,000
injection	-1,239	0,422	-2,94	0,032
rail pressure	-0,052	0,422	-0,12	0,906
turbo pressure	0,359	0,422	0,85	0,434
injection*injection	0,075	0,621	0,12	0,909
rail pressure*rail pressure	0,188	0,621	0,30	0,775
turbo pressure*turbo pressure	0,330	0,621	0,53	0,618
injection*rail pressure	0,077	0,596	0,13	0,902
injection*turbo pressure	-0,120	0,596	-0,20	0,848
rail pressure*turbo pressure	-0,387	0,596	-0,65	0,544

Tabla 17 Coeficientes codificados O2 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

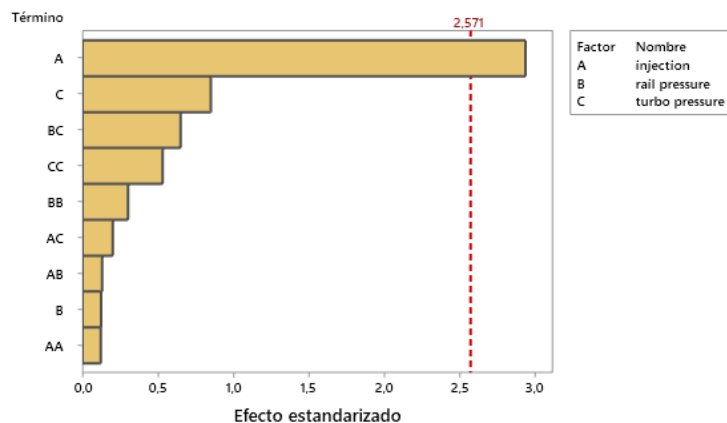


Ilustración 49 Diagrama de Pareto O2 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en el O2 es la inyección por TPS, ya que esta tiene un valor p de 0.032, y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.57.

O2 100% de carga a 2000 RPM

El O2 medido en el vehículo a 100% de carga del motor a 2000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef.	Valor T	Valor p
Constante	4,167	0,456	9,13	0,000
injection	-1,410	0,279	-5,05	0,004
rail pressure	0,003	0,279	0,01	0,993
turbo pressure	0,333	0,279	1,19	0,287
injection*injection	0,978	0,411	2,38	0,063
rail pressure*rail pressure	-0,697	0,411	-1,69	0,151
turbo pressure*turbo pressure	1,353	0,411	3,29	0,022
injection*rail pressure	0,322	0,395	0,82	0,452
injection*turbo pressure	0,487	0,395	1,23	0,272
rail pressure*turbo pressure	0,273	0,395	0,69	0,521

Tabla 18 Coeficientes codificados O2 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

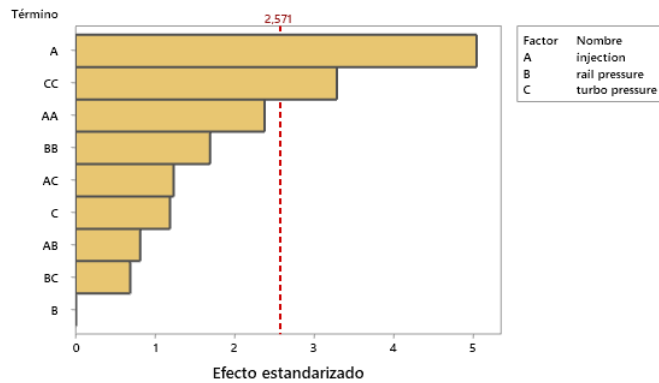


Ilustración 50 Diagrama de Pareto O2 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en el O2 es la inyección por TPS y la presión del turbo influenciado por la presión del turbo, ya que esta tiene un valor p de 0.004 y 0.022 respectivamente, y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.57.

O2 80% de carga a 3000 RPM

El O2 medido en el vehículo a 80% de carga del motor a 3000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef.	Valor T	Valor p
Constante	9,323	0,357	26,08	0,000
injection	-0,779	0,219	-3,56	0,016
rail pressure	0,152	0,219	0,70	0,517
turbo pressure	-0,124	0,219	-0,57	0,596
injection*injection	0,291	0,322	0,90	0,408
rail pressure*rail pressure	-0,442	0,322	-1,37	0,229
turbo pressure*turbo pressure	-0,099	0,322	-0,31	0,771
injection*rail pressure	-0,092	0,310	-0,30	0,777
injection*turbo pressure	-0,100	0,310	-0,32	0,760
rail pressure*turbo pressure	-0,337	0,310	-1,09	0,325

Tabla 19 Coeficientes codificados O2 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

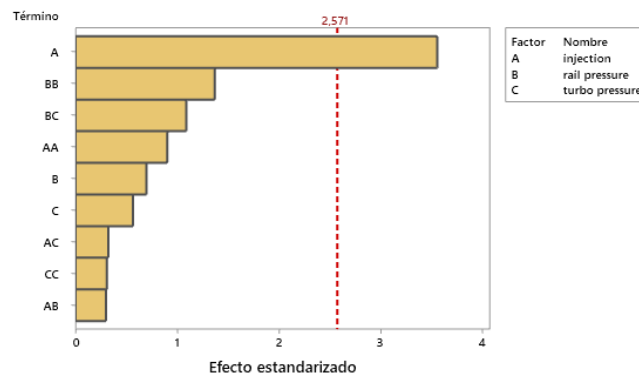


Ilustración 51 Diagrama de Pareto O2 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en el O2 es la inyección por TPS, ya que esta tiene un valor p de 0.016, y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.57.

O2 100% de carga a 3000 RPM

El O2 medido en el vehículo a 100% de carga del motor a 3000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef. Valor T	Valor p	FIV
Constante	6,092	0,325	18,76	0,000
injection	-0,848	0,199	-4,26	0,008 1,00
rail pressure	-0,151	0,199	-0,76	0,481 1,00
turbo pressure	-0,394	0,199	-1,98	0,105 1,00
injection*injection	0,287	0,293	0,98	0,373 1,01
rail pressure*rail pressure	-0,161	0,293	-0,55	0,606 1,01
turbo pressure*turbo pressure	0,404	0,293	1,38	0,226 1,01
injection*rail pressure	-0,123	0,281	-0,44	0,681 1,00
injection*turbo pressure	0,133	0,281	0,47	0,657 1,00
rail pressure*turbo pressure	-0,010	0,281	-0,04	0,973 1,00

Tabla 20 Coeficientes codificados O2 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

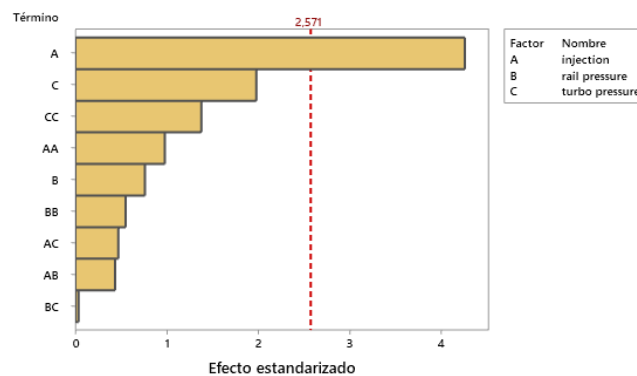


Ilustración 52 Diagrama de Pareto O2 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en el O2 es la inyección por TPS, ya que esta tiene un valor p de 0.008, y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.57.

Material particulado a 80% de carga a 2000 RPM

El material particulado medido en el vehículo a 80% de carga del motor a 2000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef. Valor T	Valor p	FIV
Constante	28,41	7,33	3,88	0,012
injection	-2,39	4,49	-0,53	0,618
rail pressure	-5,49	4,49	-1,22	0,276
turbo pressure	2,78	4,49	0,62	0,563
injection*injection	-8,75	6,61	-1,32	0,243
rail pressure*rail pressure	-4,82	6,61	-0,73	0,498
turbo pressure*turbo pressure	-11,68	6,61	-1,77	0,137
injection*rail pressure	3,20	6,35	0,50	0,636
injection*turbo pressure	2,06	6,35	0,32	0,758
rail pressure*turbo pressure	-2,06	6,35	-0,32	0,758

Tabla 21 Coeficientes codificados PPMC 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

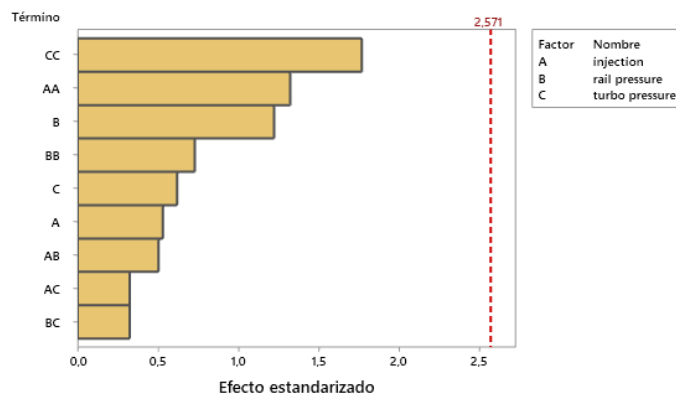


Ilustración 53 Diagrama de Pareto PPMC 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

No influye ningún factor directamente en la opacidad ya que ningún valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.57.

Material particulado a 100% de carga a 2000 RPM

El material particulado medido en el vehículo a 100% de carga del motor a 2000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef. Valor T	Valor p	FIV
Constante	49,8	13,7	3,65	0,015
injection	15,38	8,36	1,84	0,125
rail pressure	-37,75	8,36	-4,52	0,006
turbo pressure	28,05	8,36	3,35	0,020
injection*injection	-29,3	12,3	-2,38	0,063
rail pressure*turbo pressure	26,6	12,3	2,16	0,083
turbo pressure*turbo pressure	-3,5	12,3	-0,28	0,789
injection*rail pressure	-16,4	11,8	-1,39	0,224
injection*turbo pressure	9,8	11,8	0,83	0,443
rail pressure*turbo pressure	-50,1	11,8	-4,24	0,008

Tabla 22 Coeficientes codificados PPMC 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

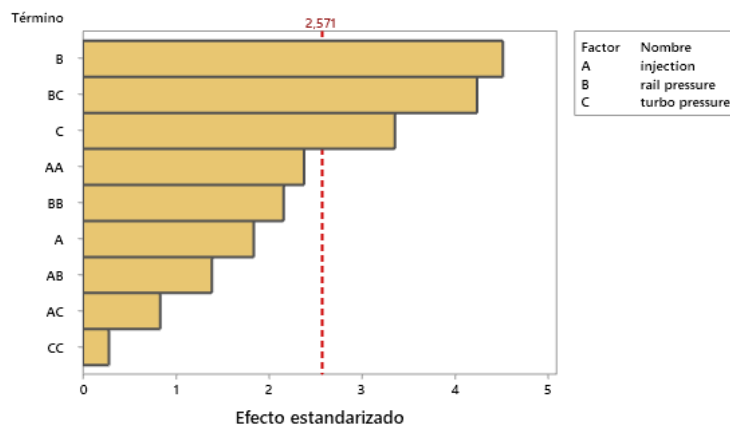


Ilustración 54 Diagrama de Pareto PPMC 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en la opacidad es la presión del rail de inyectores, la presión rail de inyectores influenciado por la presión del turbo y la presión del turbo, ya que esta tiene un valor p de 0.006, 0.008 y 0.020 respectivamente, y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.57.

Material particulado a 80% de carga a 3000 RPM

El material particulado medido en el vehículo a 80% de carga del motor a 3000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef. coef.	Valor T	Valor p. FIV
Constante	73,0	20,4	3,57	0,016
injection	8,6	12,5	0,69	0,524 1,00
rail pressure	-23,8	12,5	-1,90	0,116 1,00
turbo pressure	1,5	12,5	0,12	0,911 1,00
injection*injection	-2,1	18,4	-0,11	0,914 1,01
rail pressure*rail pressure	-10,9	18,4	-0,59	0,578 1,01
turbo pressure*turbo pressure	-34,8	18,4	-1,89	0,118 1,01
injection*rail pressure	-5,8	17,7	-0,33	0,757 1,00
injection*turbo pressure	-6,3	17,7	-0,36	0,735 1,00
rail pressure*turbo pressure	-5,8	17,7	-0,33	0,756 1,00

Tabla 23 Coeficientes codificados PPMC 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

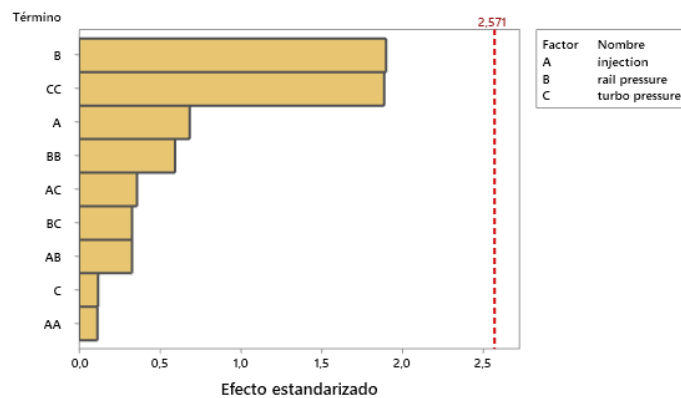


Ilustración 55 Diagrama de Pareto PPMC 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

No influye ningún factor directamente en la opacidad ya que ningún valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.57.

Material particulado a 100% de carga a 3000 RPM

El material particulado medido en el vehículo a 100% de carga del motor a 3000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef.	Valor T	Valor p
Constante	178,6	31,4	5,69	0,002
injection	15,8	19,2	0,82	0,448
rail pressure	-32,0	19,2	-1,66	0,157
turbo pressure	-5,4	19,2	-0,28	0,788
injection*injection	-7,1	28,3	-0,25	0,813
rail pressure*rail pressure	30,8	28,3	1,09	0,327
turbo pressure*turbo pressure	-97,7	28,3	-3,45	0,018
injection*rail pressure	-117,0	27,2	-4,31	0,008
injection*turbo pressure	-37,5	27,2	-1,38	0,226
rail pressure*turbo pressure	-40,0	27,2	-1,47	0,202

Tabla 24 Coeficientes codificados PPMC 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

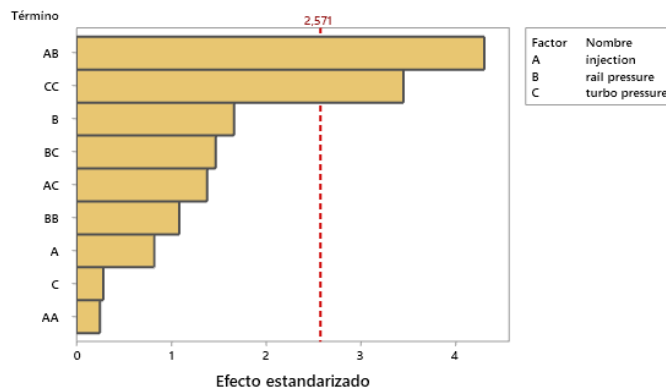


Ilustración 56 Diagrama de Pareto PPMC 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en la opacidad es la inyección por TPS influenciado por la presión del rail de inyectores, la presión del turbo influenciado por la presión del turbo, ya que esta tiene un valor p de 0.008 y 0.018 respectivamente, y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.57.

Par motor 80% de carga a 2000 RPM

El par motor medido en el vehículo a 80% de carga del motor a 2000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del				FIV
	Coef	coef.	Valor T	Valor p	
Constante	32,133	0,505	63,64	0,000	
injection	0,188	0,309	0,61	0,571	1,00
rail pressure	0,137	0,309	0,44	0,675	1,00
turbo pressure	0,125	0,309	0,40	0,703	1,00
injection*injection	0,246	0,455	0,54	0,612	1,01
rail pressure*rail pressure	0,746	0,455	1,64	0,162	1,01
turbo pressure*turbo pressure	-0,229	0,455	-0,50	0,636	1,01
injection*rail pressure	-0,975	0,437	-2,23	0,076	1,00
injection*turbo pressure	1,150	0,437	2,63	0,047	1,00
rail pressure*turbo pressure	0,100	0,437	0,23	0,828	1,00

Tabla 25 Coeficientes codificados Par motor 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

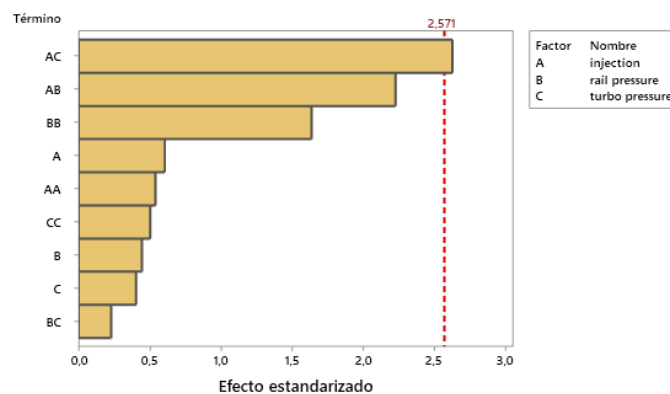


Ilustración 57 Diagrama de Pareto Par motor 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en el par motor es la inyección por TPS influenciado por la presión del turbo, ya que esta tiene un valor p de 0.076, y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.57.

Par motor 100% de carga a 2000 RPM

El par motor medido en el vehículo a 100% de carga del motor a 2000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef. coef.	Valor T	Valor p FIV
Constante	56,03	3,72	15,08	0,000
injection	5,24	2,28	2,30	0,070 1,00
rail pressure	1,12	2,28	0,49	0,642 1,00
turbo pressure	-11,09	2,28	-4,87	0,005 1,00
injection*injection	10,61	3,35	3,17	0,025 1,01
rail pressure*rail pressure	-5,47	3,35	-1,63	0,164 1,01
turbo pressure*turbo pressure	-6,54	3,35	-1,95	0,108 1,01
injection*rail pressure	-5,12	3,22	-1,59	0,172 1,00
injection*turbo pressure	5,00	3,22	1,55	0,181 1,00
rail pressure*turbo pressure	1,47	3,22	0,46	0,666 1,00

Tabla 26 Coeficientes codificados Par motor 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

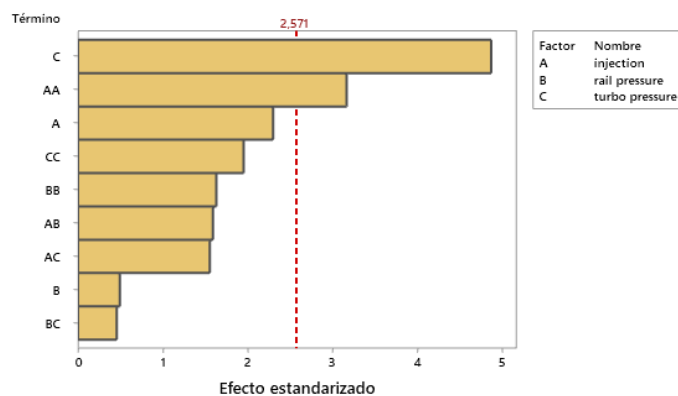


Ilustración 58 Diagrama de Pareto Par motor 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en el par motor es la presión del turbo, la inyección por TPS influenciado inyección por TPS, ya que esta tiene un valor p de 0.005 y 0.025 respectivamente, y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.57.

Par motor 80% de carga a 3000 RPM

El par motor medido en el vehículo a 80% de carga del motor a 3000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del				FIV
	Coef	coef.	Valor T	Valor p	
Constante	39,37	1,09	36,20	0,000	
injection	-0,013	0,666	-0,02	0,986	1,00
rail pressure	0,062	0,666	0,09	0,929	1,00
turbo pressure	1,925	0,666	2,89	0,034	1,00
injection*injection	0,417	0,980	0,43	0,688	1,01
rail pressure*rail pressure	-0,483	0,980	-0,49	0,643	1,01
turbo pressure*turbo pressure	1,092	0,980	1,11	0,316	1,01
injection*rail pressure	-1,100	0,942	-1,17	0,295	1,00
injection*turbo pressure	0,875	0,942	0,93	0,395	1,00
rail pressure*turbo pressure	-0,375	0,942	-0,40	0,707	1,00

Tabla 27 Coeficientes codificados Par motor 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

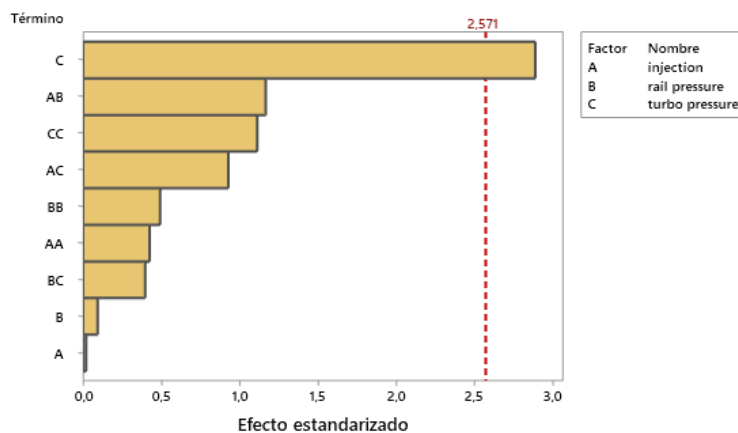


Ilustración 59 Diagrama de Pareto Par motor 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en el par motor es la presión del turbo, ya que esta tiene un valor p de 0.034, y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.57.

Par motor 100% de carga a 3000 RPM

El par motor medido en el vehículo a 100% de carga del motor a 3000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef.	Valor T	Valor p
Constante	64,833	0,984	65,89	0,000
injection	0,387	0,603	0,64	0,549
rail pressure	1,125	0,603	1,87	0,121
turbo pressure	-0,738	0,603	-1,22	0,276
injection*injection	1,521	0,887	1,71	0,147
rail pressure*rail pressure	-0,754	0,887	-0,85	0,434
turbo pressure*turbo pressure	0,421	0,887	0,47	0,655
injection*rail pressure	-1,250	0,852	-1,47	0,202
injection*turbo pressure	-0,475	0,852	-0,56	0,601
rail pressure*turbo pressure	-1,400	0,852	-1,64	0,161

Tabla 28 Coeficientes codificados Par motor 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

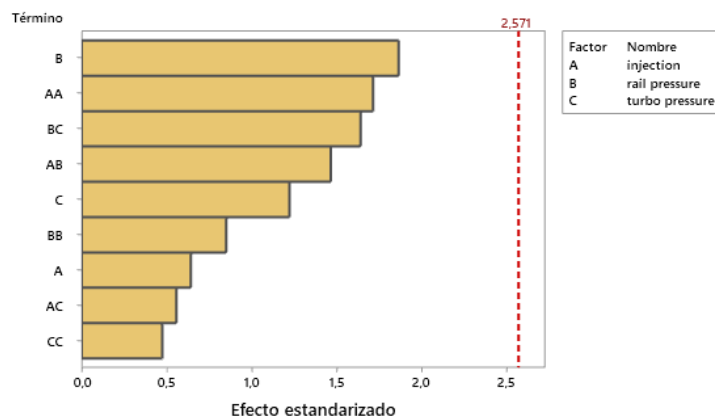


Ilustración 60 Diagrama de Pareto Par motor 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

No influye ningún factor directamente en el par motor ya que ningún valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.57.

HC 80% de carga a 2000 RPM

El HC medido en el vehículo a 80% de carga del motor a 2000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef. coef.	Valor T	Valor p FIV
Constante	10,000	0,876	11,42	0,000
injection	-0,500	0,536	-0,93	0,394 1,00
rail pressure	-1,000	0,536	-1,87	0,121 1,00
turbo pressure	2,000	0,536	3,73	0,014 1,00
injection*injection	0,875	0,789	1,11	0,318 1,01
rail pressure*rail pressure	-0,125	0,789	-0,16	0,880 1,01
turbo pressure*turbo pressure	-2,625	0,789	-3,33	0,021 1,01
injection*rail pressure	0,250	0,758	0,33	0,755 1,00
injection*turbo pressure	-1,250	0,758	-1,65	0,160 1,00
rail pressure*turbo pressure	-0,250	0,758	-0,33	0,755 1,00

Tabla 29 Coeficientes codificados HC 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

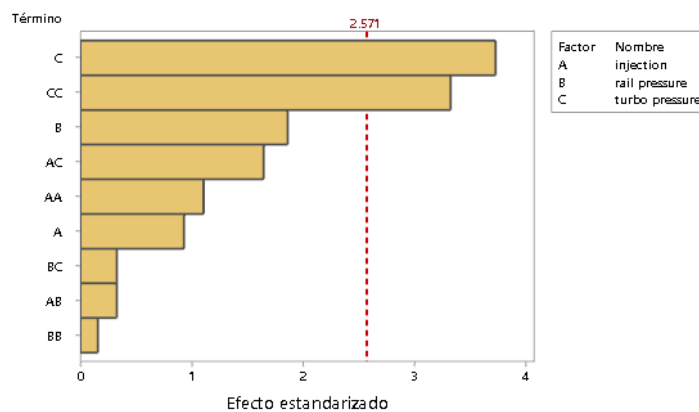


Ilustración 61 Diagrama de Pareto HC 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en las HC generadas por el motor es la presión de turbo, ya que esta tiene un valor p de 0.014, proseguido por la presión de turbo influenciado por la presión de turbo con un valor de p de 0.021, teniendo ambos sus valores T en el diagrama de Pareto sobre el umbral de significancia que es de 2.571.

HC 100% de carga a 2000 RPM

El HC medido en el vehículo a 100% de carga del motor a 2000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	Coef	EE del		
		coef.	Valor T	Valor p
Constante	8,67	2,59	3,35	0,020
injection	0,38	1,58	0,24	0,822 1,00
rail pressure	-2,00	1,58	-1,26	0,263 1,00
turbo pressure	1,13	1,58	0,71	0,509 1,00
injection*injection	2,92	2,33	1,25	0,266 1,01
rail pressure*rail pressure	-1,33	2,33	-0,57	0,592 1,01
turbo pressure*turbo pressure	-1,08	2,33	-0,46	0,662 1,01
injection*rail pressure	1,25	2,24	0,56	0,601 1,00
injection*turbo pressure	-1,50	2,24	-0,67	0,533 1,00
rail pressure*turbo pressure	-0,75	2,24	-0,33	0,751 1,00

Tabla 30 Coeficientes codificados HC 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

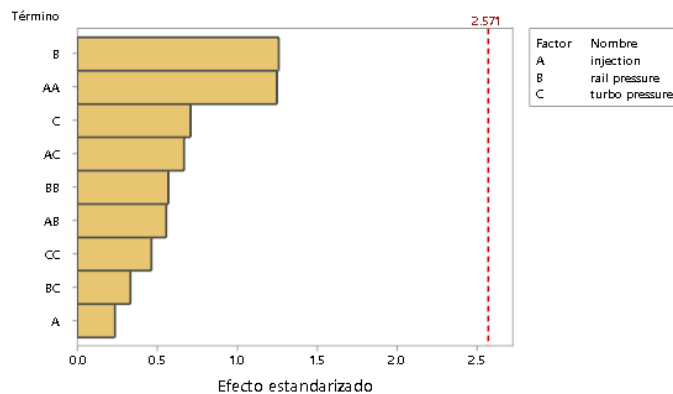


Ilustración 62 Diagrama de Pareto HC 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

En este parámetro ninguno de los factores influye directamente ya que ninguno tiene un valor p inferior a 0.05, ni su valor T sobrepasa al valor del umbral de significancia en el diagrama de Pareto.

HC 80% de carga a 3000 RPM

El HC medido en el vehículo a 80% de carga del motor a 3000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef. Valor T	Valor p	FIV
Constante	10,000	0,671	14,91	0,000
injection	0,750	0,411	1,83	0,127
rail pressure	-0,375	0,411	-0,91	0,403
turbo pressure	1,375	0,411	3,35	0,020
injection*injection	-2,125	0,605	-3,51	0,017
rail pressure*rail pressure	-0,875	0,605	-1,45	0,208
turbo pressure*turbo pressure	-1,875	0,605	-3,10	0,027
injection*rail pressure	0,500	0,581	0,86	0,429
injection*turbo pressure	-2,000	0,581	-3,44	0,018
rail pressure*turbo pressure	-0,250	0,581	-0,43	0,685

Tabla 31 Coeficientes codificados HC 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

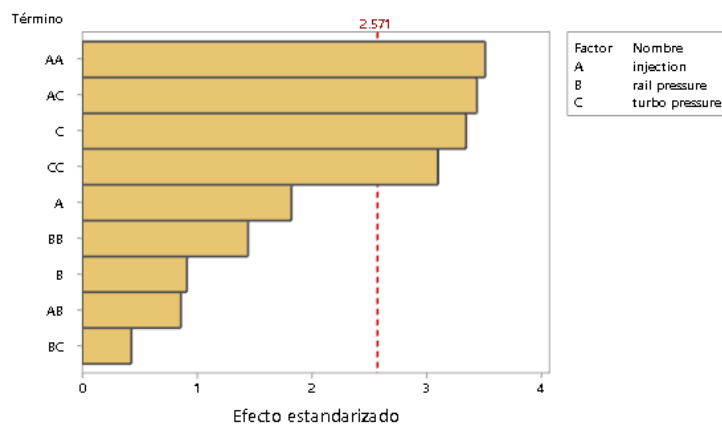


Ilustración 63 Diagrama de Pareto HC 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en las HC generadas por el motor es la inyección por TPS influenciada por la inyección por TPS, seguida en menor grado por la inyección por TPS influenciada por la presión de turbo, proseguido por la presión de turbo y en último la presión de turbo influenciado por la presión de turbo, se tiene un valor p de la inyección por TPS influenciada por la inyección por TPS de 0.017, 0.018 para la inyección por TPS influenciada por la presión de turbo, 0.020 para la presión de turbo y 0.027 para la presión de turbo

influenciado por la presión de turbo y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.571.

HC 100% de carga a 3000 RPM

El HC medido en el vehículo a 100% de carga del motor a 3000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef.	Valor T	Valor p FIV
Constante	12,33	1,14	10,84	0,000
injection	0,375	0,697	0,54	0,613 1,00
rail pressure	-0,375	0,697	-0,54	0,613 1,00
turbo pressure	2,250	0,697	3,23	0,023 1,00
injection*injection	-1,29	1,03	-1,26	0,263 1,01
rail pressure*rail pressure	-1,79	1,03	-1,75	0,141 1,01
turbo pressure*turbo pressure	-3,04	1,03	-2,97	0,031 1,01
injection*rail pressure	-0,250	0,985	-0,25	0,810 1,00
injection*turbo pressure	-1,500	0,985	-1,52	0,188 1,00
rail pressure*turbo pressure	0,500	0,985	0,51	0,633 1,00

Tabla 32 Coeficientes codificados HC 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

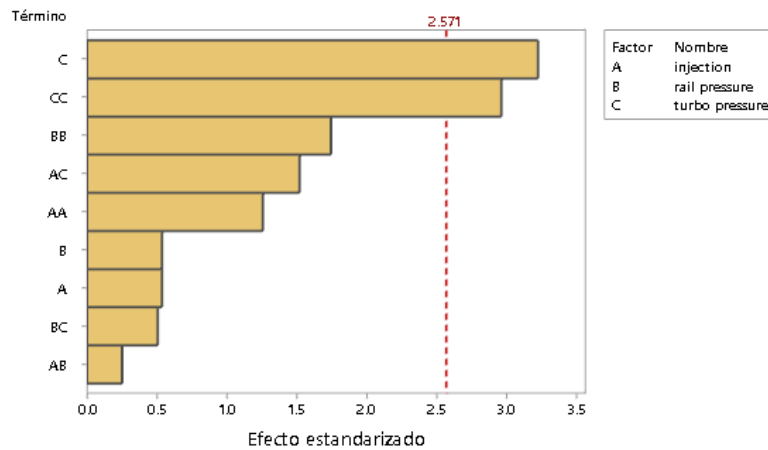


Ilustración 64 Diagrama de Pareto HC 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en las HC generadas por el motor es la presión de turbo, ya que esta tiene un valor p de 0.023, proseguido por la presión de turbo influenciado por la presión de turbo con un valor de p de 0.031, teniendo ambos sus valores T en el diagrama de Pareto sobre el umbral de significancia que es de 2.571.

NOx 80% de carga a 2000 RPM

Los Nox medidos en el vehículo a 80% de carga del motor a 2000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef. coef.	Valor T	Valor p FIV
Constante	395,7	47,9	8,25	0,000
injection	36,0	29,4	1,23	0,275 1,00
rail pressure	21,4	29,4	0,73	0,499 1,00
turbo pressure	-33,4	29,4	-1,14	0,307 1,00
injection*injection	10,3	43,2	0,24	0,821 1,01
rail pressure*rail pressure	-44,5	43,2	-1,03	0,351 1,01
turbo pressure*turbo pressure	-25,5	43,2	-0,59	0,581 1,01
injection*rail pressure	16,0	41,5	0,39	0,716 1,00
injection*turbo pressure	43,0	41,5	1,04	0,348 1,00
rail pressure*turbo pressure	40,2	41,5	0,97	0,377 1,00

Tabla 33 Coeficientes codificados Nox 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

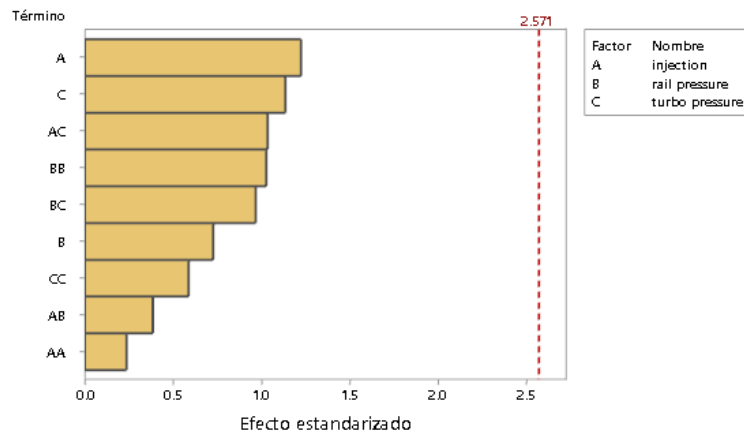


Ilustración 65 Diagrama de Pareto Nox 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

En este parámetro ninguno de los factores influye directamente ya que ninguno tiene un valor p inferior a 0.05, ni su valor T sobrepasa al valor del umbral de significancia en el diagrama de Pareto.

NOx 100% de carga a 2000 RPM

Los NOx medidos en el vehículo a 100% de carga del motor a 2000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef.	Valor T	Valor p FIV
Constante	440,3	34,1	12,92	0,000
injection	-0,6	20,9	-0,03	0,977 1,00
rail pressure	42,0	20,9	2,01	0,100 1,00
turbo pressure	4,1	20,9	0,20	0,851 1,00
injection*injection	-12,0	30,7	-0,39	0,711 1,01
rail pressure*rail pressure	33,2	30,7	1,08	0,329 1,01
turbo pressure*turbo pressure	-64,0	30,7	-2,08	0,092 1,01
injection*rail pressure	-47,5	29,5	-1,61	0,169 1,00
injection*turbo pressure	-6,7	29,5	-0,23	0,828 1,00
rail pressure*turbo pressure	38,0	29,5	1,29	0,254 1,00

Tabla 34 Coeficientes codificados NOx 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

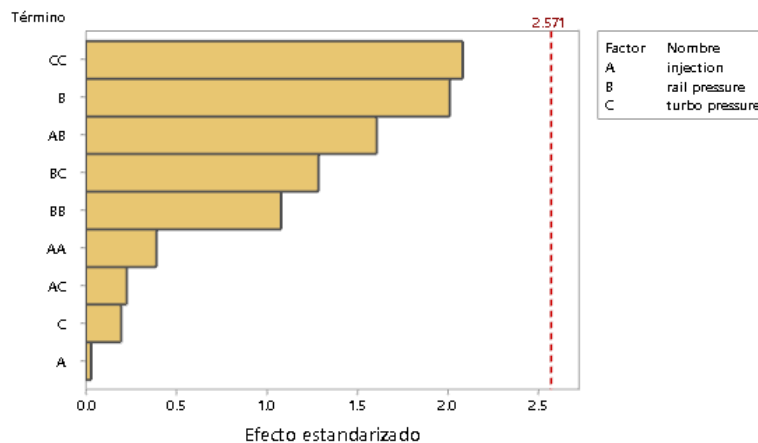


Ilustración 66 Diagrama de Pareto NOx 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

En este parámetro ninguno de los factores influye directamente ya que ninguno tiene un valor p inferior a 0.05, ni su valor T sobrepasa al valor del umbral de significancia en el diagrama de Pareto. Aunque se debe tomar en cuenta que existen factores muy cercanos a el umbral de significancia, siendo esta presión de turbo con influencia de la presión de turbo y presión de riel, que si bien no afectan tan directamente, aun así pueden generar variaciones en el parámetro

NOx 80% de carga a 3000 RPM

Los NOx medidos en el vehículo a 80% de carga del motor a 3000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef.	Valor T	Valor p
Constante	309,7	27,6	11,24	0,000
injection	-5,1	16,9	-0,30	0,774
rail pressure	-14,6	16,9	-0,87	0,426
turbo pressure	37,3	16,9	2,21	0,078
injection*injection	-10,3	24,8	-0,42	0,695
rail pressure*rail pressure	1,7	24,8	0,07	0,949
turbo pressure*turbo pressure	-4,1	24,8	-0,16	0,876
injection*rail pressure	28,5	23,9	1,19	0,286
injection*turbo pressure	16,3	23,9	0,68	0,526
rail pressure*turbo pressure	37,7	23,9	1,58	0,175

Tabla 35 Coeficientes codificados NOx 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

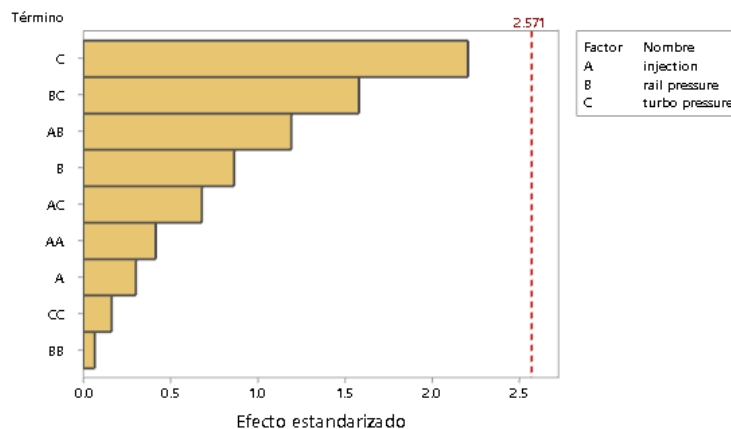


Ilustración 67 Diagrama de Pareto NOx 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

En este parámetro ninguno de los factores influye directamente ya que ninguno tiene un valor p inferior a 0.05, ni su valor T sobrepasa al valor del umbral de significancia en el diagrama de Pareto. Aunque se debe tomar en cuenta que existe un factor muy cercano a el umbral de significancia, siendo este: la presión de turbo, que, si bien no afecta tan directamente, aun así, puede generar variaciones en el parámetro.

NOx 100% de carga a 3000 RPM

Los NOx medidos en el vehículo a 100% de carga del motor a 3000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef.	Valor T	Valor p
Constante	448,0	28,4	15,79	0,000
injection	-13,0	17,4	-0,75	0,488
rail pressure	41,3	17,4	2,37	0,064
turbo pressure	22,8	17,4	1,31	0,247
injection*injection	0,9	25,6	0,03	0,974
rail pressure*rail pressure	3,4	25,6	0,13	0,900
turbo pressure*turbo pressure	-30,1	25,6	-1,18	0,292
injection*rail pressure	35,8	24,6	1,46	0,205
injection*turbo pressure	-1,7	24,6	-0,07	0,946
rail pressure*turbo pressure	11,7	24,6	0,48	0,653

Tabla 36 Coeficientes codificados NOx 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

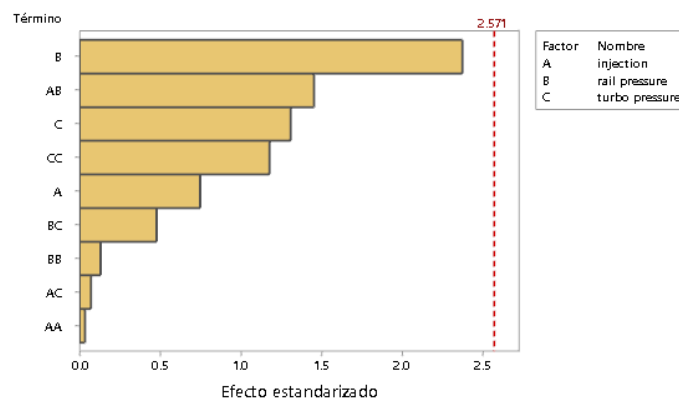


Ilustración 68 Diagrama de Pareto NOx 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

En este parámetro ninguno de los factores influye directamente ya que ninguno tiene un valor p inferior a 0.05, ni su valor T sobrepasa al valor del umbral de significancia en el diagrama de Pareto. Aunque se debe tomar en cuenta que existe un factor muy cercano a el umbral de significancia, siendo este: la presión de riel, que, si bien no afecta tan directamente, aun así, puede generar variaciones en el parámetro.

Cantidad de diésel 80% de carga a 2000 RPM

La cantidad de diésel medida en el vehículo a 80% de carga del motor a 2000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef.	Valor T	Valor p FIV
Constante	15,820	0,199	79,38	0,000
injection	-0,049	0,122	-0,40	0,706 1,00
rail pressure	0,049	0,122	0,40	0,706 1,00
turbo pressure	0,195	0,122	1,60	0,171 1,00
injection*injection	0,374	0,180	2,08	0,092 1,01
rail pressure*rail pressure	0,374	0,180	2,08	0,092 1,01
turbo pressure*turbo pressure	0,081	0,180	0,45	0,670 1,01
injection*rail pressure	-0,683	0,173	-3,95	0,011 1,00
injection*turbo pressure	0,390	0,173	2,26	0,073 1,00
rail pressure*turbo pressure	0,195	0,173	1,13	0,310 1,00

Tabla 37 Coeficientes codificados Cantidad de diésel 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

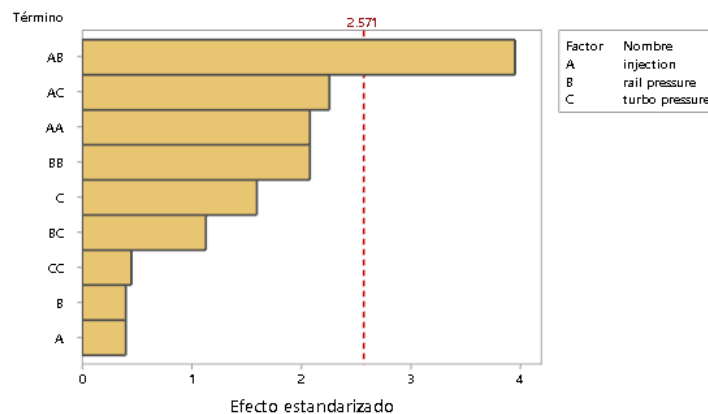


Ilustración 69 Diagrama de Pareto Cantidad de diésel 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en la cantidad de diésel es la inyección por TPS influenciado por la presión de riel, ya que esta tiene un valor p de 0.011 y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.571.

Cantidad de diésel 100% de carga a 2000 RPM

La cantidad de diésel medida en el vehículo a 100% de carga del motor a 2000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef.	Valor T	Valor p
Constante	27,84	2,00	13,95	0,000
injection	2,70	1,22	2,21	0,078
rail pressure	0,69	1,22	0,56	0,599
turbo pressure	-5,44	1,22	-4,45	0,007
injection*injection	5,25	1,80	2,92	0,033
rail pressure*rail pressure	-2,50	1,80	-1,39	0,223
turbo pressure*turbo pressure	-3,38	1,80	-1,88	0,119
injection*rail pressure	-2,55	1,73	-1,47	0,201
injection*turbo pressure	2,45	1,73	1,42	0,215
rail pressure*turbo pressure	0,78	1,73	0,45	0,669

Tabla 38 Coeficientes codificados Cantidad de diésel 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

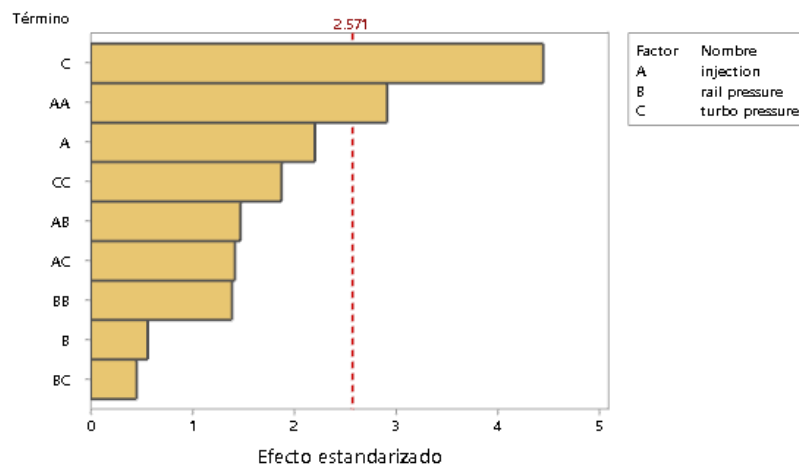


Ilustración 70 Diagrama de Pareto Cantidad de diésel 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en la cantidad de diésel es la presión de turbo, ya que esta tiene un valor p de 0.007, proseguido por la inyección por TPS influenciado por la inyección por TPS con un valor de p de 0.033, teniendo ambos sus valores T en el diagrama de Pareto sobre el umbral de significancia que es de 2.571.

Cantidad de diésel 80% de carga a 3000 RPM

La cantidad de diésel medida en el vehículo a 80% de carga del motor a 3000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef.	Valor T	Valor p
Constante	19,740	0,620	31,82	0,000
injection	-0,048	0,380	-0,13	0,905
rail pressure	0,098	0,380	0,26	0,808
turbo pressure	0,933	0,380	2,45	0,058
injection*injection	-0,017	0,559	-0,03	0,976
rail pressure*rail pressure	-0,312	0,559	-0,56	0,600
turbo pressure*turbo pressure	0,573	0,559	1,02	0,353
injection*rail pressure	-0,590	0,537	-1,10	0,322
injection*turbo pressure	0,490	0,537	0,91	0,404
rail pressure*turbo pressure	-0,000	0,537	-0,00	1,000

Tabla 39 Coeficientes codificados Cantidad de diésel 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

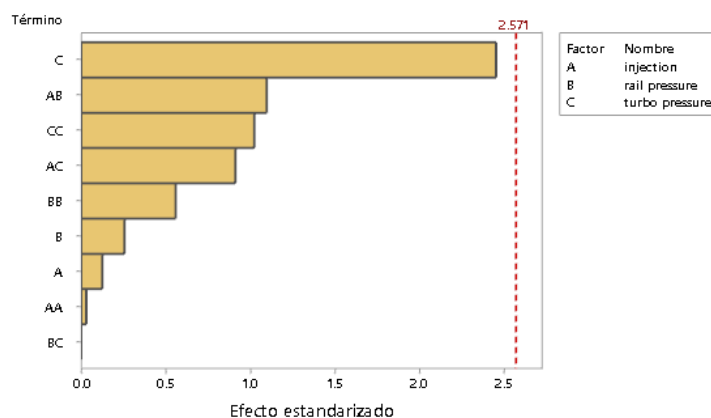


Ilustración 71 Diagrama de Pareto Cantidad de diésel 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

En este parámetro ninguno de los factores influye directamente ya que ninguno tiene un valor p inferior a 0.05, ni su valor T sobrepasa al valor del umbral de significancia en el diagrama de Pareto. Aunque se debe tomar en cuenta que existe un factor muy cercano a el umbral de significancia, siendo este: la presión de turbo, que, si bien no afecta tan directamente, aun así, puede generar variaciones en el parámetro.

Cantidad de diésel 100% de carga a 3000 RPM

La cantidad de diésel medida en el vehículo a 100% de carga del motor a 3000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef.	Valor T	Valor p FIV
Constante	32,420	0,479	67,65	0,000
injection	0,097	0,293	0,33	0,753 1,00
rail pressure	0,441	0,293	1,50	0,193 1,00
turbo pressure	-0,441	0,293	-1,50	0,193 1,00
injection*injection	0,606	0,432	1,40	0,219 1,01
rail pressure*rail pressure	-0,476	0,432	-1,10	0,320 1,01
turbo pressure*turbo pressure	0,309	0,432	0,71	0,507 1,01
injection*rail pressure	-0,785	0,415	-1,89	0,117 1,00
injection*turbo pressure	-0,000	0,415	-0,00	1,000 1,00
rail pressure*turbo pressure	-0,687	0,415	-1,66	0,159 1,00

Tabla 40 Coeficientes codificados Cantidad de diésel 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

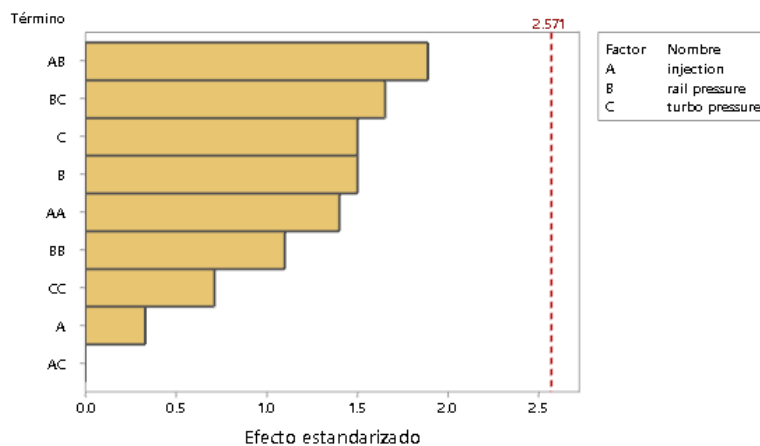


Ilustración 72 Diagrama de Pareto Cantidad de diésel 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

En este parámetro ninguno de los factores influye directamente ya que ninguno tiene un valor p inferior a 0.05, ni su valor T sobrepasa al valor del umbral de significancia en el diagrama de Pareto. Aunque se debe tomar en cuenta que existe un factor muy cercano a el umbral de significancia, siendo este: la inyección por TPS influenciado por la presión de riel, que, si bien no afecta tan directamente, aun así, puede generar variaciones en el parámetro.

Fuerza tractora 80% de carga a 2000 RPM

La fuerza tractora medida en el vehículo a 80% de carga del motor a 2000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	Coef	EE del			FIV
		coef.	Valor T	Valor p	
Constante	419,3	36,2	11,57	0,000	
injection	137,4	22,2	6,19	0,002	1,00
rail pressure	33,5	22,2	1,51	0,191	1,00
turbo pressure	-10,1	22,2	-0,46	0,667	1,00
injection*injection	-20,7	32,7	-0,63	0,555	1,01
rail pressure*rail pressure	-33,4	32,7	-1,02	0,353	1,01
turbo pressure*turbo pressure	29,3	32,7	0,90	0,410	1,01
injection*rail pressure	-98,2	31,4	-3,13	0,026	1,00
injection*turbo pressure	7,0	31,4	0,22	0,832	1,00
rail pressure*turbo pressure	5,2	31,4	0,17	0,874	1,00

Tabla 41 Coeficientes codificados Fuerza tractora 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

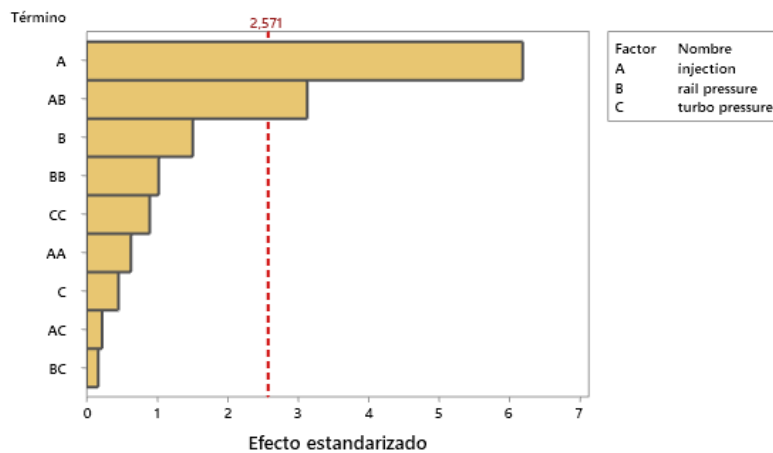


Ilustración 73 Diagrama de Pareto Fuerza tractora 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en la fuerza tractora es la inyección por TPS y la inyección por TPS influenciado por la presión del rail, ya que esta tiene un valor p de 0.002 y 0.026 respectivamente, y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.57.

Fuerza tractora 100% de carga a 2000 RPM

La fuerza tractora medida en el vehículo a 100% de carga del motor a 2000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	Coef	EE del			FIV
		coef.	Valor T	Valor p	
Constante	1038,3	83,7	12,40	0,000	
injection	199,6	51,3	3,89	0,011	1,00
rail pressure	49,3	51,3	0,96	0,381	1,00
turbo pressure	-272,6	51,3	-5,32	0,003	1,00
injection*injection	244,1	75,5	3,23	0,023	1,01
rail pressure*rail pressure	-75,7	75,5	-1,00	0,362	1,01
turbo pressure*turbo pressure	-215,4	75,5	-2,85	0,036	1,01
injection*rail pressure	-117,2	72,5	-1,62	0,167	1,00
injection*turbo pressure	73,5	72,5	1,01	0,357	1,00
rail pressure*turbo pressure	19,3	72,5	0,27	0,801	1,00

Tabla 42 Coeficientes codificados Fuerza tractora 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

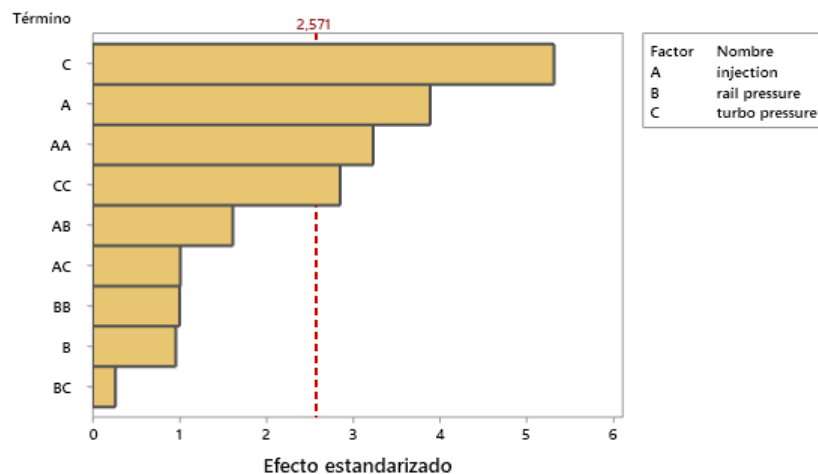


Ilustración 74 Diagrama de Pareto Fuerza tractora 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en la fuerza tractora es la inyección por TPS, la inyección por TPS influenciado inyección del TPS, la presión del turbo y la presión del turbo influenciado por la presión del turbo, ya que esta tiene un valor p de 0.011, 0.023, 0.003 y 0.036 respectivamente, y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.57.

Fuerza tractora 80% de carga a 3000 RPM

La fuerza tractora medida en el vehículo a 80% de carga del motor a 3000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef. coef.	Valor T	Valor p
Constante	609,7	26,8	22,72	0,000
injection	88,5	16,4	5,39	0,003
rail pressure	-3,3	16,4	-0,20	0,851
turbo pressure	47,3	16,4	2,88	0,035
injection*injection	10,5	24,2	0,44	0,681
rail pressure*rail pressure	-13,0	24,2	-0,54	0,615
turbo pressure*turbo pressure	23,0	24,2	0,95	0,384
injection*rail pressure	-38,3	23,2	-1,65	0,161
injection*turbo pressure	5,2	23,2	0,23	0,830
rail pressure*turbo pressure	-5,3	23,2	-0,23	0,830

Tabla 43 Coeficientes codificados Fuerza tractora 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

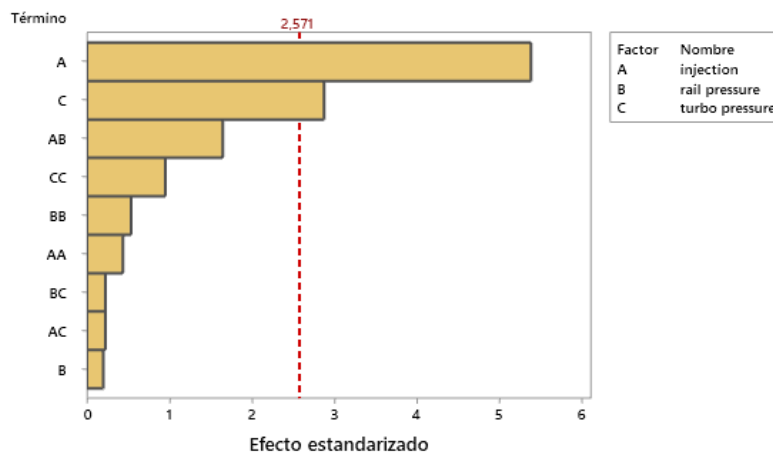


Ilustración 75 Diagrama de Pareto Fuerza tractora 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en la fuerza tractora es la inyección por TPS y la presión del turbo, ya que esta tiene un valor p de 0.003 y 0.035 respectivamente, y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.57.

Fuerza tractora 100% de carga a 3000 RPM

La fuerza tractora medida en el vehículo a 100% de carga del motor a 3000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	Coef	EE del		
		coef.	Valor T	Valor p
Constante	1304,3	31,9	40,83	0,000
injection	111,0	19,6	5,67	0,002 1,00
rail pressure	47,1	19,6	2,41	0,061 1,00
turbo pressure	-12,9	19,6	-0,66	0,540 1,00
injection*injection	42,8	28,8	1,49	0,197 1,01
rail pressure*rail pressure	12,1	28,8	0,42	0,692 1,01
turbo pressure*turbo pressure	18,6	28,8	0,65	0,547 1,01
injection*rail pressure	-28,8	27,7	-1,04	0,346 1,00
injection*turbo pressure	-15,3	27,7	-0,55	0,605 1,00
rail pressure*turbo pressure	-41,5	27,7	-1,50	0,194 1,00

Tabla 44 Coeficientes codificados Fuerza tractora 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

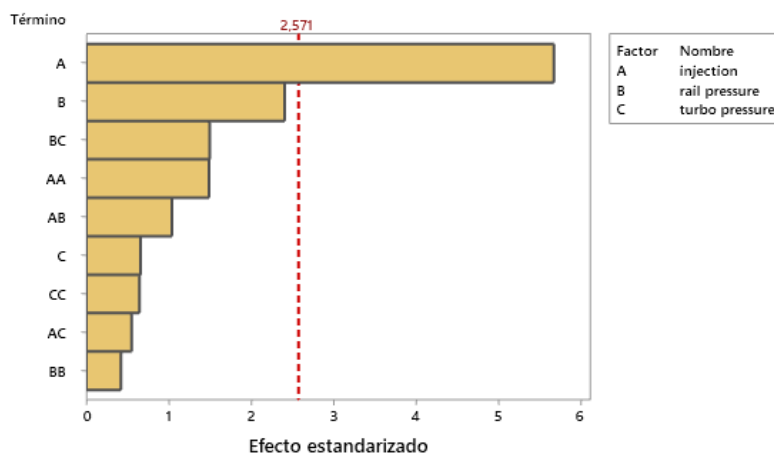


Ilustración 76 Diagrama de Pareto Fuerza tractora 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en la fuerza tractora es la inyección por TPS, ya que esta tiene un valor p de 0.002, y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.57.

CO2 80% de carga a 2000 RPM

El CO2 medido en el vehículo a 80% de carga del motor a 2000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del				
	Coef	coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	9,033	0,252	35,91	0,000	
injection	0,913	0,154	5,92	0,002	1,00
rail pressure	0,025	0,154	0,16	0,877	1,00
turbo pressure	-0,113	0,154	-0,73	0,498	1,00
injection*injection	0,008	0,227	0,04	0,972	1,01
rail pressure*rail pressure	-0,067	0,227	-0,29	0,781	1,01
turbo pressure*turbo pressure	-0,142	0,227	-0,62	0,560	1,01
injection*rail pressure	-0,025	0,218	-0,11	0,913	1,00
injection*turbo pressure	-0,000	0,218	-0,00	1,000	1,00
rail pressure*turbo pressure	0,075	0,218	0,34	0,745	1,00

Tabla 45 Coeficientes codificados CO2 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

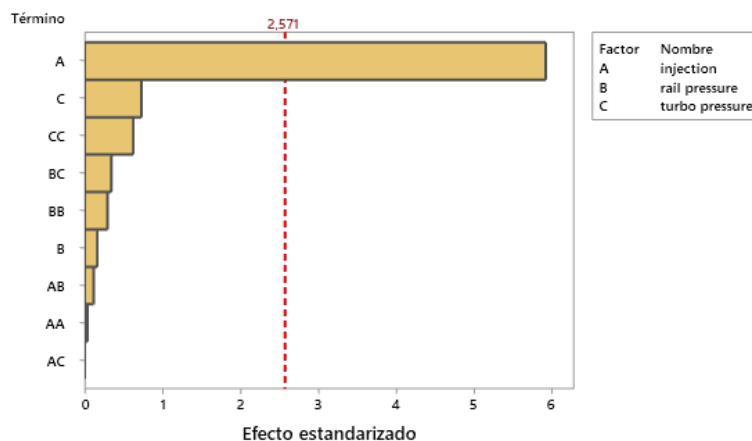


Ilustración 77 Diagrama de Pareto CO2 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en el CO2 es la inyección por TPS, ya que esta tiene un valor p de 0, y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.57.

CO2 100% de carga a 2000 RPM

El CO2 medido en el vehículo a 100% de carga del motor a 2000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del				
	Coef	coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	12,267	0,252	48,70	0,000	
injection	1,075	0,154	6,97	0,001	1,00
rail pressure	-0,000	0,154	-0,00	1,000	1,00
turbo pressure	-0,275	0,154	-1,78	0,135	1,00
injection*injection	-0,321	0,227	-1,41	0,217	1,01
rail pressure*rail pressure	0,329	0,227	1,45	0,207	1,01
turbo pressure*turbo pressure	-0,671	0,227	-2,95	0,032	1,01
injection*rail pressure	-0,075	0,218	-0,34	0,745	1,00
injection*turbo pressure	-0,025	0,218	-0,11	0,913	1,00
rail pressure*turbo pressure	-0,275	0,218	-1,26	0,263	1,00

Tabla 46 Coeficientes codificados CO2 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

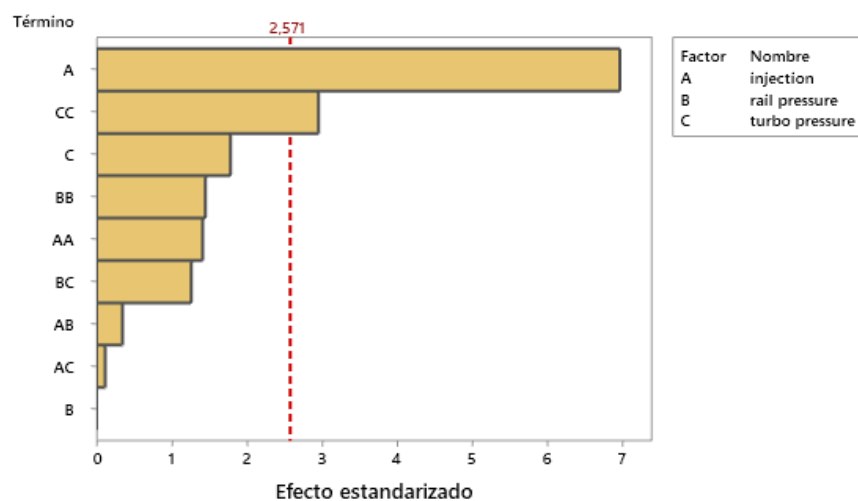


Ilustración 78 Diagrama de Pareto CO2 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en el CO2 es la inyección por TPS y la presión del turbo influenciado por la presión del turbo, ya que esta tiene un valor p de 0.001 y 0.032 respectivamente, y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.57.

CO2 80% de carga a 3000 RPM

El CO2 medido en el vehículo a 80% de carga del motor a 3000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef.	Valor T	Valor p
Constante	8,633	0,166	51,96	0,000
injection	0,763	0,102	7,49	0,001
rail pressure	-0,088	0,102	-0,86	0,429
turbo pressure	-0,050	0,102	-0,49	0,644
injection*injection	-0,017	0,150	-0,11	0,916
rail pressure*rail pressure	0,083	0,150	0,56	0,602
turbo pressure*turbo pressure	-0,042	0,150	-0,28	0,792
injection*rail pressure	0,050	0,144	0,35	0,742
injection*turbo pressure	-0,075	0,144	-0,52	0,624
rail pressure*turbo pressure	0,025	0,144	0,17	0,869

Tabla 47 Coeficientes codificados CO2 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

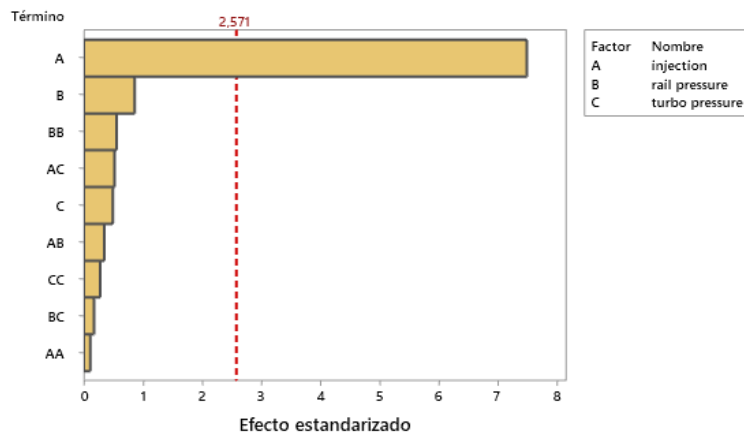


Ilustración 79 Diagrama de Pareto CO2 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en el CO2 es la inyección por TPS, ya que esta tiene un valor p de 0.001, y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.57.

CO2 100% de carga a 3000 RPM

El CO2 medido en el vehículo a 100% de carga del motor a 3000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del				
	Coef	coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	11,067	0,135	81,86	0,000	
injection	0,7500	0,0828	9,06	0,000	1,00
rail pressure	0,0875	0,0828	1,06	0,339	1,00
turbo pressure	0,1875	0,0828	2,26	0,073	1,00
injection*injection	-0,058	0,122	-0,48	0,652	1,01
rail pressure*rail pressure	-0,033	0,122	-0,27	0,795	1,01
turbo pressure*turbo pressure	-0,283	0,122	-2,33	0,068	1,01
injection*rail pressure	0,025	0,117	0,21	0,839	1,00
injection*turbo pressure	-0,075	0,117	-0,64	0,550	1,00
rail pressure*turbo pressure	-0,050	0,117	-0,43	0,687	1,00

Tabla 48 Coeficientes codificados CO2 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

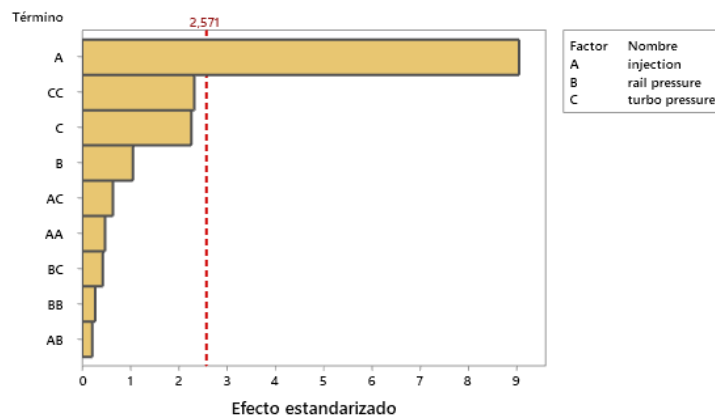


Ilustración 80 Diagrama de Pareto CO2 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en el CO2 es la inyección por TPS, ya que esta tiene un valor p de 0, y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre el umbral de significancia que es de 2.57.

Análisis de gráficas factoriales

Par motor 80% de carga a 2000 RPM

En el Par Motor en 80% de carga a 2000 RPM se observa que la presión de riel es el parámetro que mayor influencia tiene sobre el par, teniendo el mayor incremento al tener el incremento del 10%.

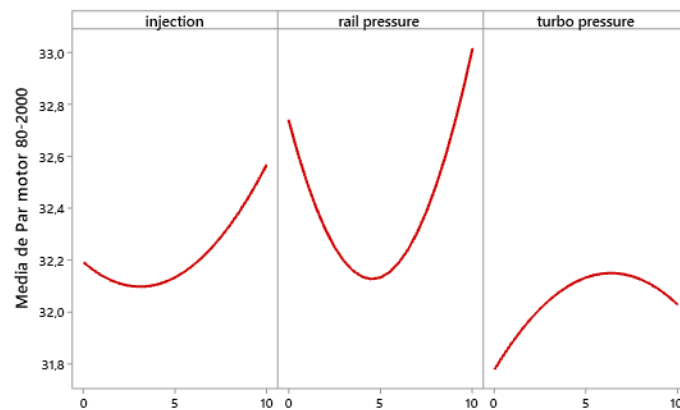


Ilustración 81 Gráfica de efectos principales para Par motor 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

En la gráfica se puede observar que el par motor es máximo cuando los factores tienen la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 10%
- Presión de riel al 10%
- Presión de turbo al 5%

Por otro lado, se obtendrá un par mínimo cuando los factores tengan la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 0%
- Presión de riel al 5%
- Presión de turbo al 0%

Par motor 100% de carga a 2000 RPM

En el Par Motor en 100% de carga a 2000 RPM se observa que la inyección por TPS es el parámetro que mayor influencia tiene sobre el par, teniendo el mayor incremento al tener el incremento del 10%.

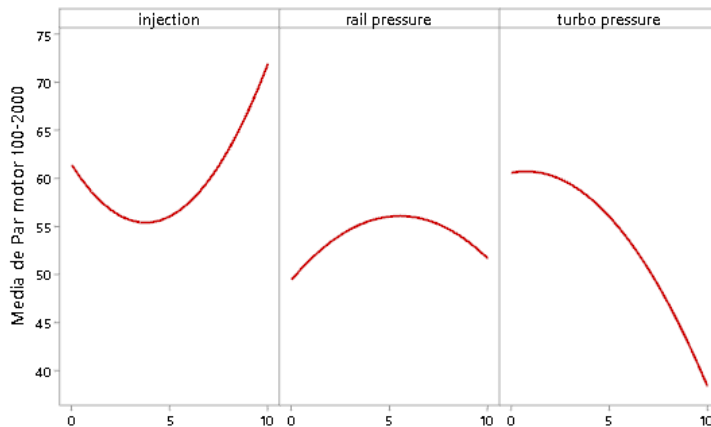


Ilustración 82 Gráfica de efectos principales para Par motor 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

En la gráfica se puede observar que el par motor es máximo cuando los factores tienen la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 10%
- Presión de riel al 5%
- Presión de turbo al 0%

Por otro lado, se obtendrá un par mínimo cuando los factores tengan la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 4%
- Presión de riel al 0%
- Presión de turbo al 10%

Par motor 80% de carga a 3000 RPM

En el Par Motor en 80% de carga a 3000 RPM se observa que la presión de turbo es el parámetro que mayor influencia tiene sobre el par, teniendo el mayor incremento al tener el incremento del 10%.

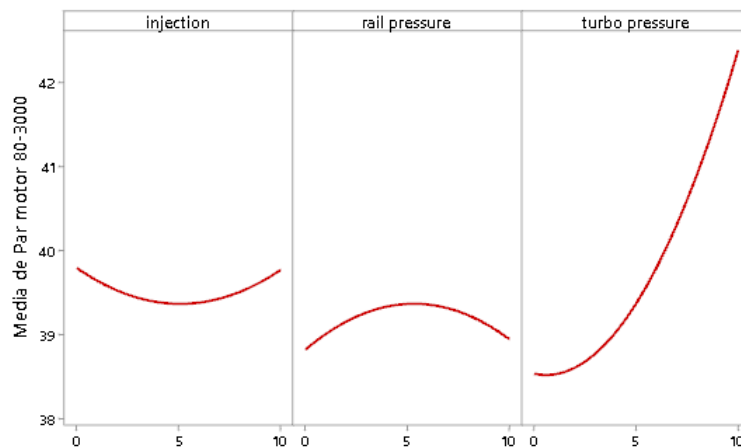


Ilustración 83 Gráfica de efectos principales para Par motor 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

En la gráfica se puede observar que el par motor es máximo cuando los factores tienen la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 0%
- Presión de riel al 5%
- Presión de turbo al 10%

Por otro lado, se obtendrá un par mínimo cuando los factores tengan la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 5%
- Presión de riel al 0%
- Presión de turbo al 0%

Par motor 100% de carga a 3000 RPM

En la potencia en 100% de carga a 3000 RPM se observa que la inyección por TPS es el parámetro que mayor influencia tiene sobre el par, teniendo el mayor incremento al tener el incremento del 10%.

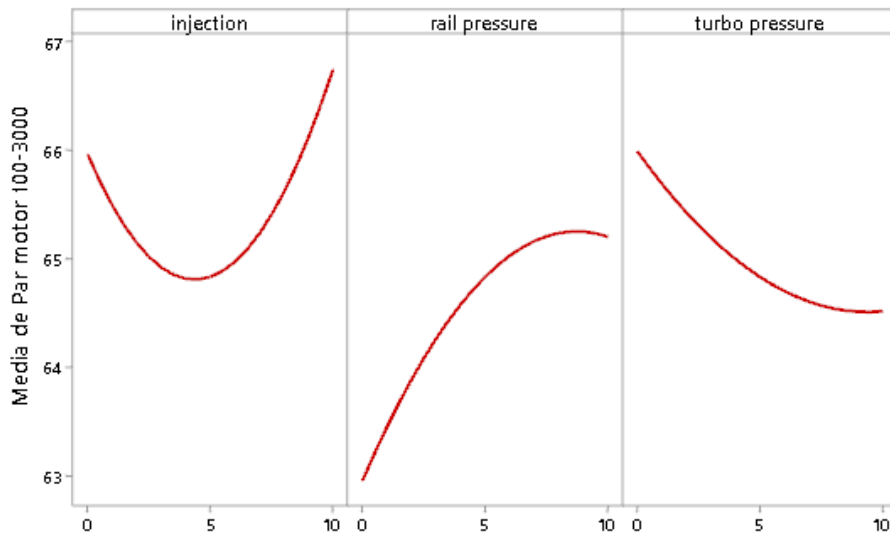


Ilustración 84 Gráfica de efectos principales para Par motor 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

En la gráfica se puede observar que el par motor es máximo cuando los factores tienen la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 10%
- Presión de riel al 8%
- Presión de turbo al 0%

Por otro lado, se obtendrá un par mínimo cuando los factores tengan la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 5%
- Presión de riel al 0%
- Presión de turbo al 10%

Potencia 80% de carga a 2000 RPM

En la potencia del Motor en 80% de carga a 2000 RPM se observa que la inyección por TPS es el parámetro que mayor influencia tiene sobre el par, teniendo el mayor incremento al tener el incremento del 10%.

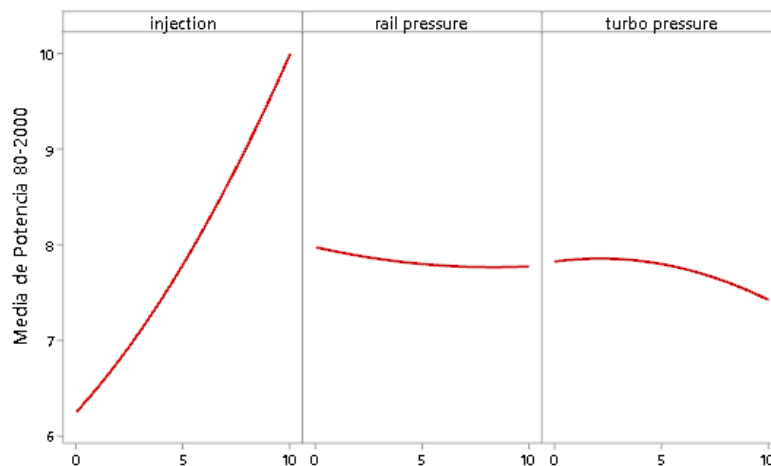


Ilustración 85 Gráfica de efectos principales para Potencia 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

En la gráfica se puede observar que la potencia es máxima cuando los factores tienen la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 10%
- Presión de riel al 0%
- Presión de turbo al 3%

Por otro lado, se obtendrá una potencia mínima cuando los factores tengan la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 0%
- Presión de riel al 10%
- Presión de turbo al 10%

Potencia 100% de carga a 2000 RPM

En la potencia del Motor en 100% de carga a 3000 RPM se observa que la inyección por TPS es el parámetro que mayor influencia tiene sobre el par, teniendo el mayor incremento al tener el incremento del 10%.

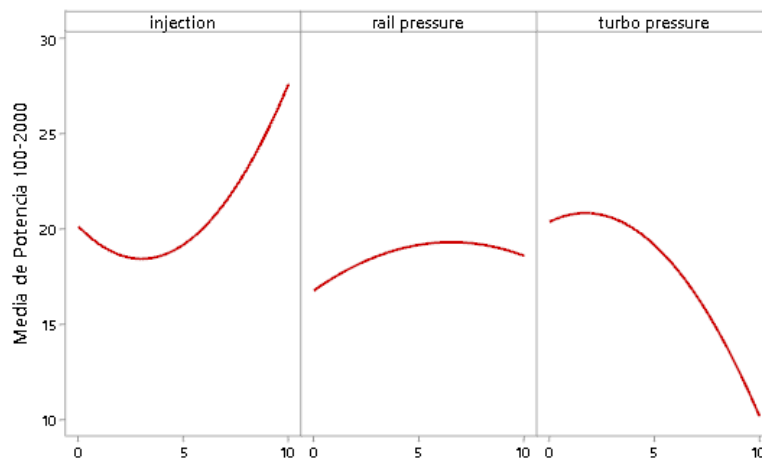


Ilustración 86 Gráfica de efectos principales para Potencia 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

En la gráfica se puede observar que la potencia es máxima cuando los factores tienen la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 10%
- Presión de riel al 6%
- Presión de turbo al 2%

Por otro lado, se obtendrá una potencia mínima cuando los factores tengan la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 4%
- Presión de riel al 0%
- Presión de turbo al 10%

Potencia 80% de carga a 3000 RPM

Respecto a la potencia en 80% de carga a 3000 RPM se observa que el factor que más interviene es la inyección con respecto al TPS ya que mientras mayor sea la inyección, existe una mayor potencia en el vehículo.

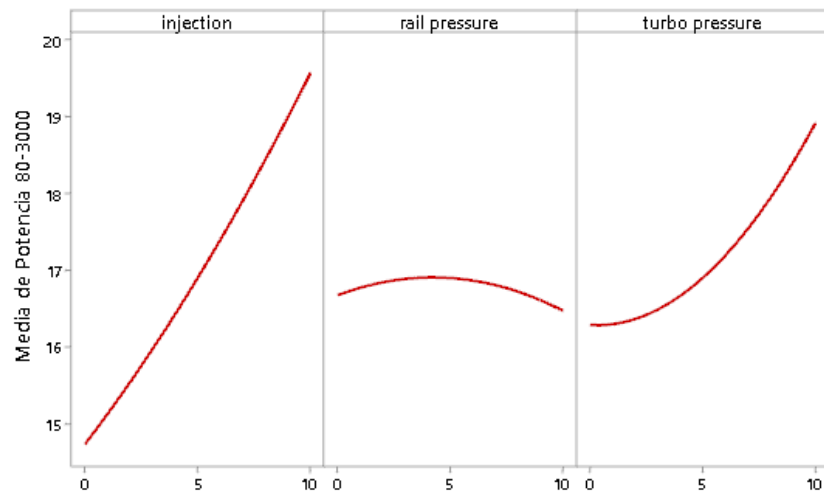


Ilustración 87 Gráfica de efectos principales para Potencia 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

En la gráfica se puede observar que la potencia es máxima cuando los factores tienen la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 10%
- Presión de riel al 5%
- Presión de turbo al 10%

Por otro lado, se obtendrá una potencia mínima cuando los factores tengan la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 0%
- Presión de riel al 10%
- Presión de turbo al 0%

Potencia 100% de carga a 3000 RPM

Respecto a la potencia en 100% de carga a 3000 RPM se observa que el factor que más interviene es la inyección con respecto al TPS ya que mientras mayor sea la inyección, existe una mayor potencia en el vehículo.

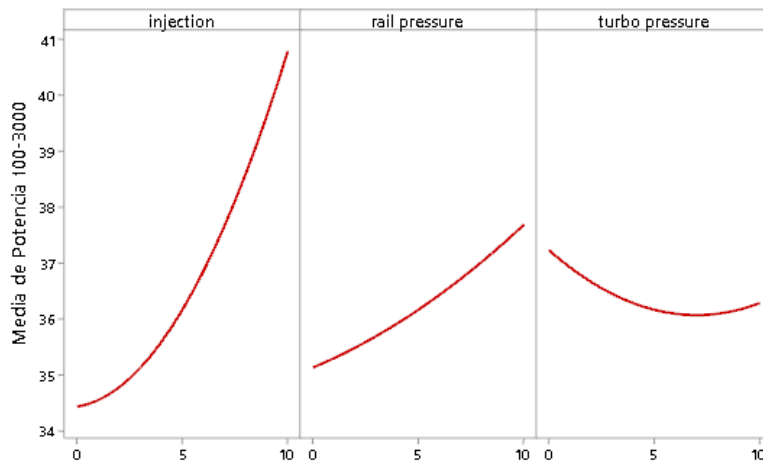


Ilustración 88 Gráfica de efectos principales para Potencia 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

En la gráfica se puede observar que la potencia es máxima cuando los factores tienen la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 10%
- Presión de riel al 10%
- Presión de turbo al 0%

Por otro lado, se obtendrá una potencia mínima cuando los factores tengan la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 0%
- Presión de riel al 0%
- Presión de turbo al 7%

NOX 80% de carga a 2000 RPM

Respecto a los NOx en 80% de carga a 2000 RPM se observa que el factor que más interviene es la inyección con respecto al TPS ya que mientras mayor sea la inyección, existe una mayor emisión de NOx en el vehículo.

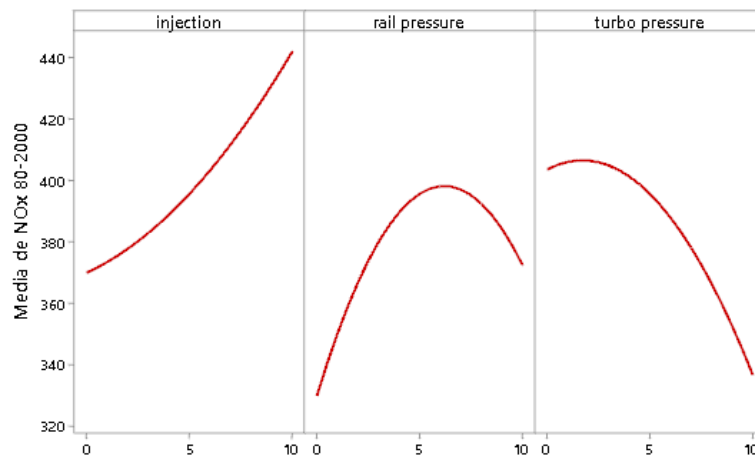


Ilustración 89 Gráfica de efectos principales para NOx 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

En la gráfica se puede observar que el NOX es máximo cuando los factores tienen la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 10%
- Presión de riel al 6%
- Presión de turbo al 2%

Por otro lado, se obtendrá un NOX mínimo cuando los factores tengan la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 0%
- Presión de riel al 0%
- Presión de turbo al 10%

NOx 100% de carga a 2000 RPM

Respecto a los NOx en 100% de carga a 2000 RPM se observa que el factor que más interviene es la presión del rail ya que mientras mayor sea la presión, existe una mayor emisión de NOx en el vehículo.

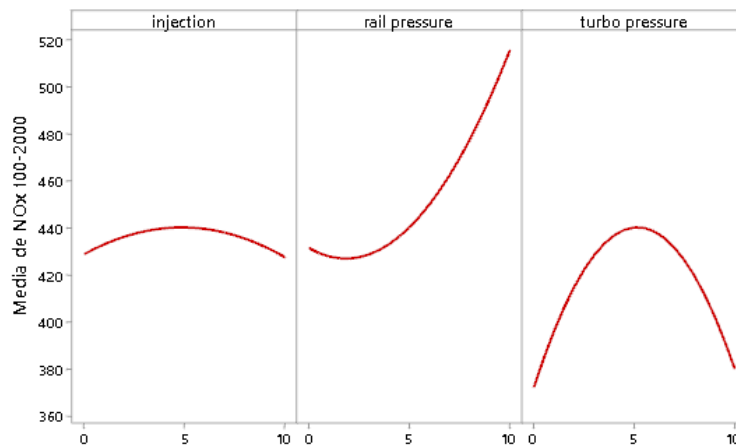


Ilustración 90 Gráfica de efectos principales para NOx 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

En la gráfica se puede observar que el NOx es máximo cuando los factores tienen la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 5%
- Presión de riel al 10%
- Presión de turbo al 5%

Por otro lado, se obtendrá un NOx mínimo cuando los factores tengan la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 10%
- Presión de riel al 2%
- Presión de turbo al 0%

NOX 80% de carga a 3000 RPM

Respecto a los NOx en 80% de carga a 3000 RPM se observa que el factor que más interviene es la presión del turbo ya que mientras mayor sea la presión, existe una mayor emisión de NOx en el vehículo.

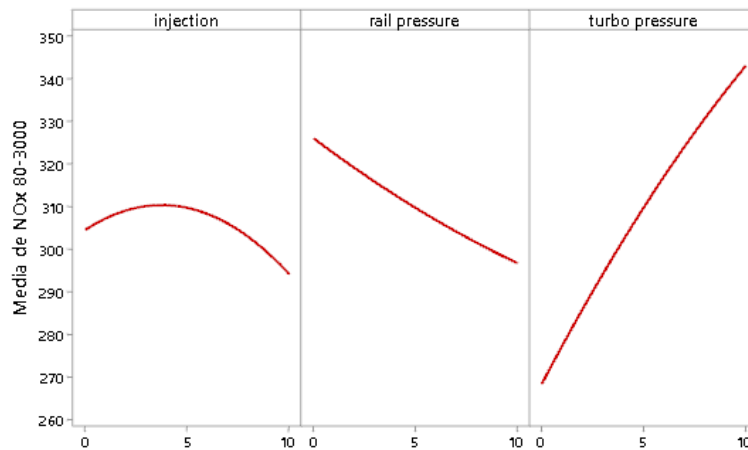


Ilustración 91 Gráfica de efectos principales para NOx 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

En la gráfica se puede observar que el NOX es máximo cuando los factores tienen la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 4%
- Presión de riel al 0%
- Presión de turbo al 10%

Por otro lado, se obtendrá un NOX mínimo cuando los factores tengan la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 10%
- Presión de riel al 10%
- Presión de turbo al 0%

NOX 100% de carga a 3000 RPM

Respecto a los NOx en 100% de carga a 3000 RPM se observa que el factor que más interviene es la presión del rail ya que mientras mayor sea la presión, existe una mayor emisión de NOx en el vehículo.

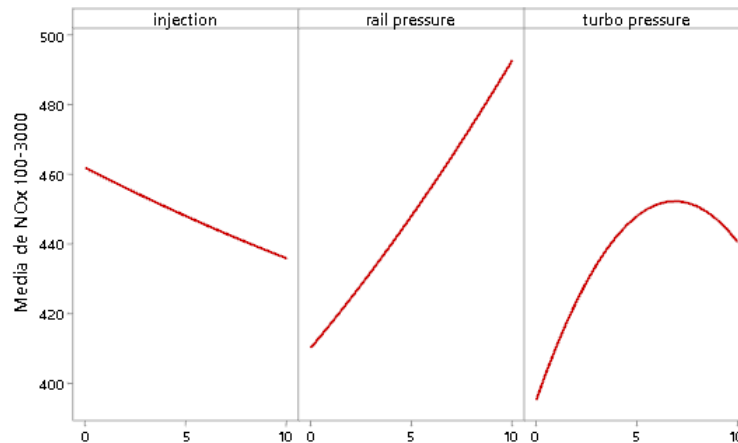


Ilustración 92 Gráfica de efectos principales para NOx 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

En la gráfica se puede observar que el NOx es máximo cuando los factores tienen la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 0%
- Presión de riel al 10%
- Presión de turbo al 7%

Por otro lado, se obtendrá un NOx mínimo cuando los factores tengan la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 10%
- Presión de riel al 0%
- Presión de turbo al 0%

Material particulado 80% de carga a 2000 RPM

Respecto al material particulado en 80% de carga a 2000 RPM se observa que el factor que más interviene es la presión del rail ya que mientras menor sea la presión, existe una mayor emisión de material particulado en el vehículo.

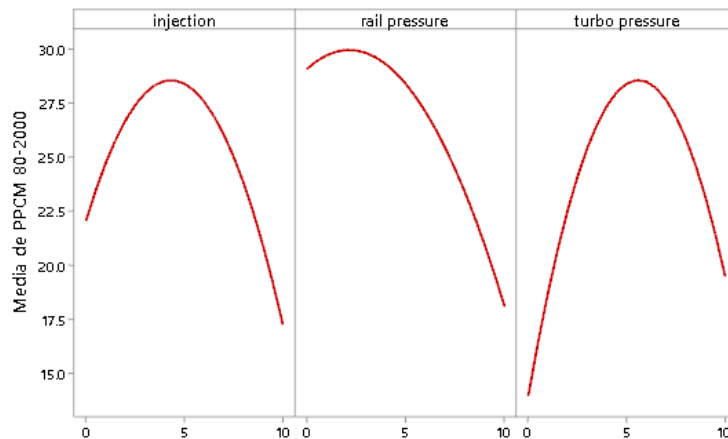


Ilustración 93 Gráfica de efectos principales para material particulado 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

En la gráfica se puede observar que el material particulado es máximo cuando los factores tienen la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 5%
- Presión de riel al 3%
- Presión de turbo al 5%

Por otro lado, se obtendrá un material particulado mínimas cuando los factores tengan la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 10%
- Presión de riel al 10%
- Presión de turbo al 0%

Material particulado 100% de carga a 2000 RPM

Respecto al material particulado en 100% de carga a 2000 RPM se observa que el factor que más interviene es la presión del rail ya que mientras menor sea la presión, existe una mayor emisión de material particulado en el vehículo.

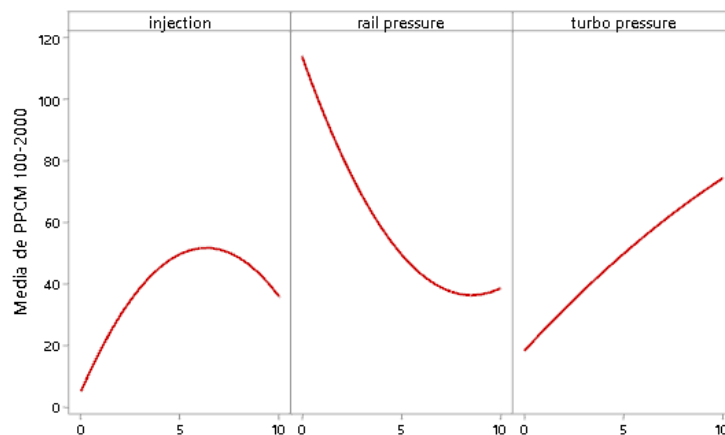


Ilustración 94 Gráfica de efectos principales para material particulado 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

En la gráfica se puede observar que el material particulado es máximo cuando los factores tienen la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 7%
- Presión de riel al 0%
- Presión de turbo al 10%

Por otro lado, se obtendrá un material particulado mínimas cuando los factores tengan la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 0%
- Presión de riel al 9%
- Presión de turbo al 10%

Material particulado 80% de carga a 3000 RPM

Respecto al material particulado en 80% de carga a 3000 RPM se observa que el factor que más interviene es la presión del rail ya que mientras menor sea la presión, existe una mayor emisión de material particulado en el vehículo.

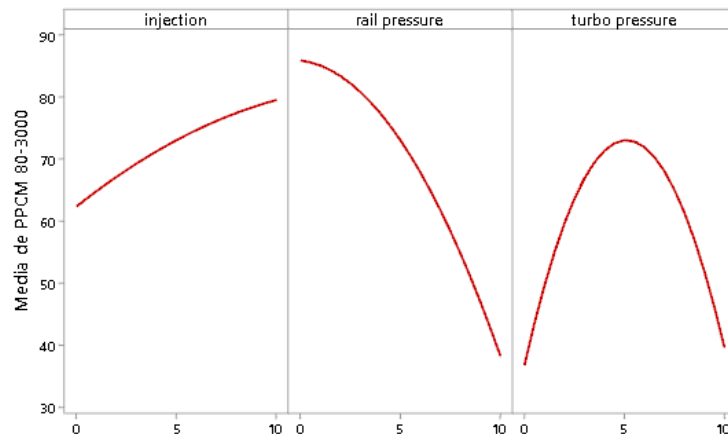


Ilustración 95 Gráfica de efectos principales para material particulado 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

En la gráfica se puede observar que el material particulado es máximo cuando los factores tienen la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 10%
- Presión de riel al 0%
- Presión de turbo al 5%

Por otro lado, se obtendrá un material particulado mínimas cuando los factores tengan la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 0%
- Presión de riel al 10%
- Presión de turbo al 0%

Material particulado 100% de carga a 3000 RPM

Respecto al material particulado en 100% de carga a 3000 RPM se observa que el factor que más interviene es la presión del rail ya que mientras menor sea la presión, existe una mayor emisión de material particulado en el vehículo.

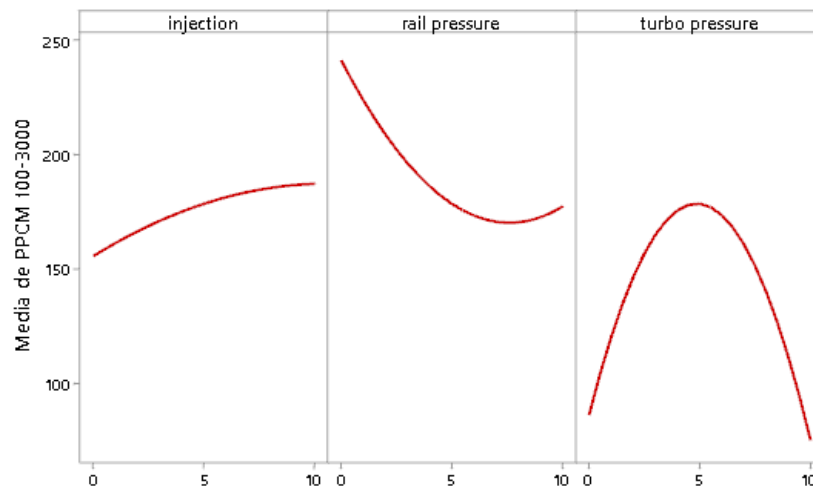


Ilustración 96 Gráfica de efectos principales para material particulado 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

En la gráfica se puede observar que el material particulado es máximo cuando los factores tienen la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 10%
- Presión de riel al 0%
- Presión de turbo al 5%

Por otro lado, se obtendrá un material particulado mínimas cuando los factores tengan la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 0%
- Presión de riel al 7%
- Presión de turbo al 10%

Fuerza tractora 80% de carga a 2000 RPM

Respecto a la fuerza tractora en 80% de carga a 2000 RPM se observa que el factor que más interviene es la inyección con respecto al TPS ya que mientras mayor sea la inyección, existe una mayor fuerza tractora en el vehículo.

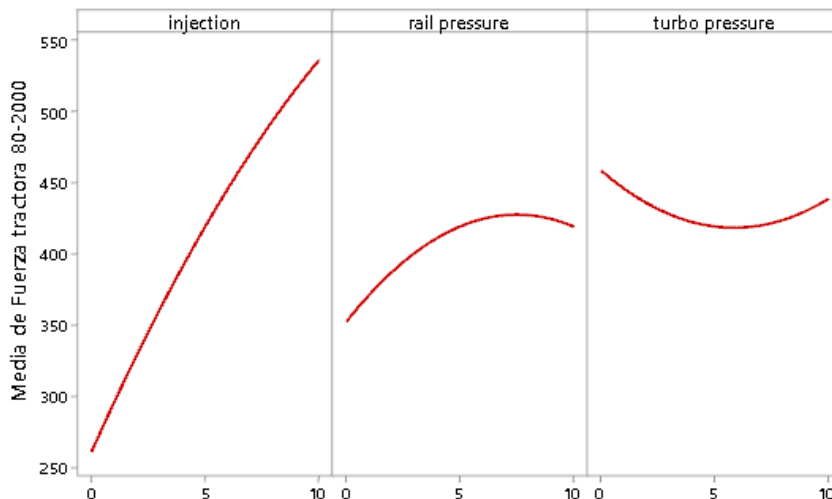


Ilustración 97 Gráfica de efectos principales para Fuerza tractora 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

En la gráfica se puede observar que la fuerza tractora es máxima cuando los factores tienen la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 10%
- Presión de riel al 7%
- Presión de turbo al 0%

Por otro lado, se obtendrá una fuerza tractora mínima cuando los factores tengan la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 0%
- Presión de riel al 0%
- Presión de turbo al 6%

Fuerza tractora 100% de carga a 2000 RPM

Respecto a la fuerza tractora en 100% de carga a 2000 RPM se observa que el factor que más interviene es la inyección con respecto al TPS ya que mientras mayor sea la inyección, existe una mayor fuerza tractora en el vehículo.

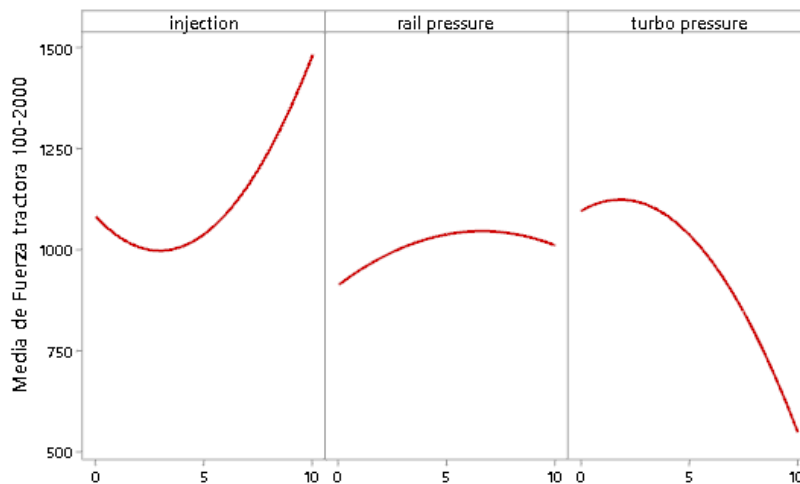


Ilustración 98 Gráfica de efectos principales para Fuerza tractora 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

En la gráfica se puede observar que la fuerza tractora es máxima cuando los factores tienen la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 10%
- Presión de riel al 6%
- Presión de turbo al 3%

Por otro lado, se obtendrá una fuerza tractora mínima cuando los factores tengan la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 4%
- Presión de riel al 0%
- Presión de turbo al 10%

Fuerza tractora 80% de carga a 3000 RPM

Respecto a la fuerza tractora en 80% de carga a 3000 RPM se observa que el factor que más interviene es la inyección con respecto al TPS ya que mientras mayor sea la inyección, existe una mayor fuerza tractora en el vehículo.

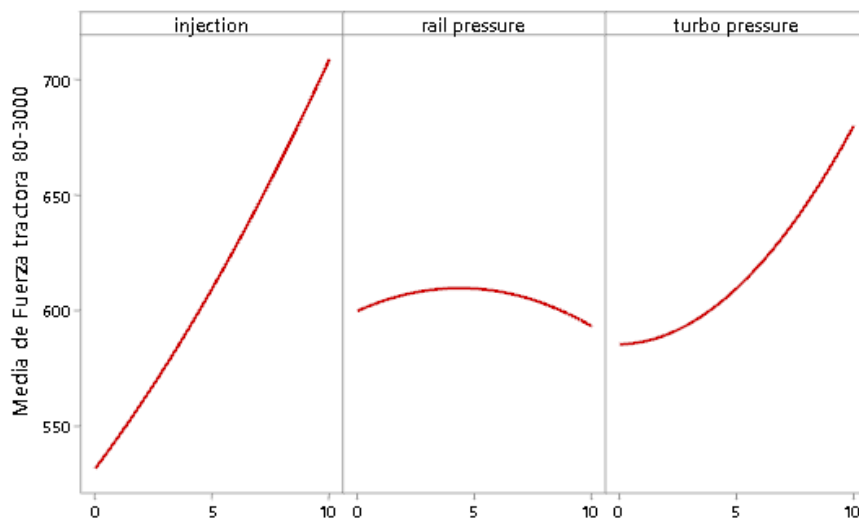


Ilustración 99 Gráfica de efectos principales para Fuerza tractora 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

En la gráfica se puede observar que la fuerza tractora es máxima cuando los factores tienen la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 10%
- Presión de riel al 5%
- Presión de turbo al 10%

Por otro lado, se obtendrá una fuerza tractora mínima cuando los factores tengan la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 0%
- Presión de riel al 10%
- Presión de turbo al 0%

Fuerza tractora 100% de carga a 3000 RPM

Respecto a la fuerza tractora en 100% de carga a 3000 RPM se observa que el factor que más interviene es la inyección con respecto al TPS ya que mientras mayor sea la inyección, existe una mayor fuerza tractora en el vehículo.

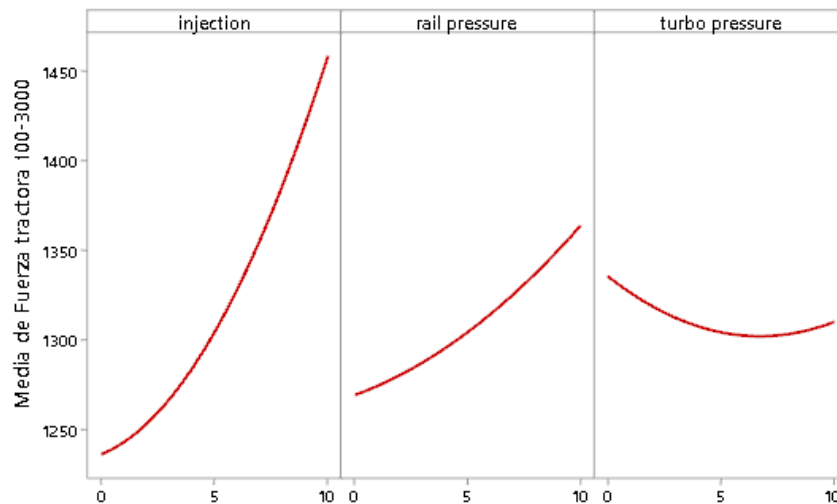


Ilustración 100 Gráfica de efectos principales para Fuerza tractora 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

En la gráfica se puede observar que la fuerza tractora es máxima cuando los factores tienen la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 10%
- Presión de riel al 10%
- Presión de turbo al 0%

Por otro lado, se obtendrá una fuerza tractora mínima cuando los factores tengan la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 0%
- Presión de riel al 0%
- Presión de turbo al 6%

CO 80% de carga a 2000 RPM

Respecto al CO en 80% de carga a 2000 RPM se observa que el factor que más interviene es la presión del turbo ya que mientras menos presión, existe mayores emisiones de CO en los gases del vehículo.

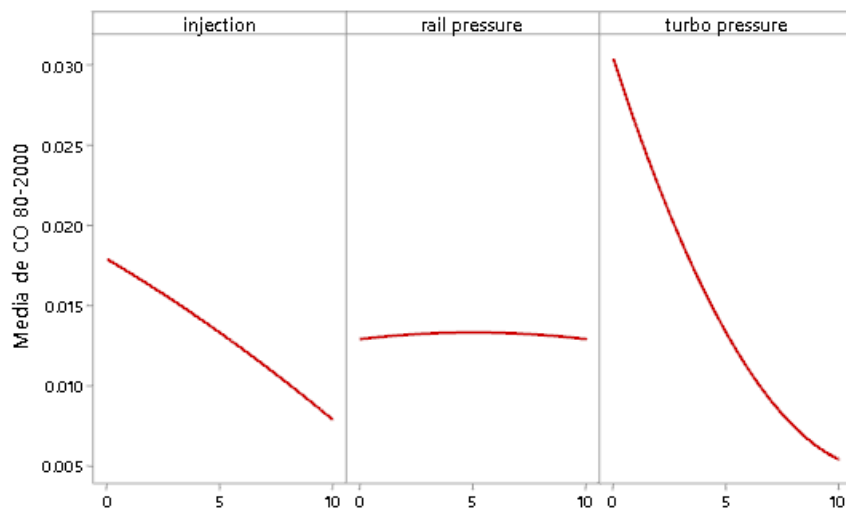


Ilustración 101 Gráfica de efectos principales para CO 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

En la gráfica se puede observar que el monóxido de carbono es máximo cuando los factores tienen la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 0%
- Presión de riel al 5%
- Presión de turbo al 0%

Por otro lado, se obtendrá el monóxido de carbono al mínimo cuando los factores tengan la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 10%
- Presión de riel al 10%
- Presión de turbo al 10%

CO 100% de carga a 2000 RPM

Respecto al CO en 100% de carga a 2000 RPM se observa que el factor que más interviene es la presión del turbo ya que mientras menos presión, existe mayores emisiones de CO en los gases del vehículo.

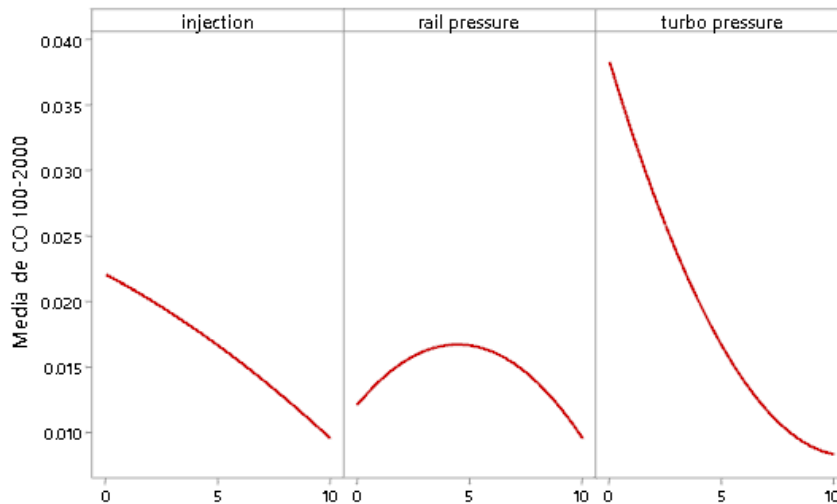


Ilustración 102 Gráfica de efectos principales para CO 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

En la gráfica se puede observar que el monóxido de carbono es máximo cuando los factores tienen la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 0%
- Presión de riel al 4%
- Presión de turbo al 0%

Por otro lado, se obtendrá el monóxido de carbono al mínimo cuando los factores tengan la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 10%
- Presión de riel al 10%
- Presión de turbo al 10%

CO 80% de carga a 3000 RPM

Respecto al CO en 80% de carga a 3000 RPM se observa que el factor que más interviene es la presión del turbo ya que mientras menos presión, existe mayores emisiones de CO en los gases del vehículo.

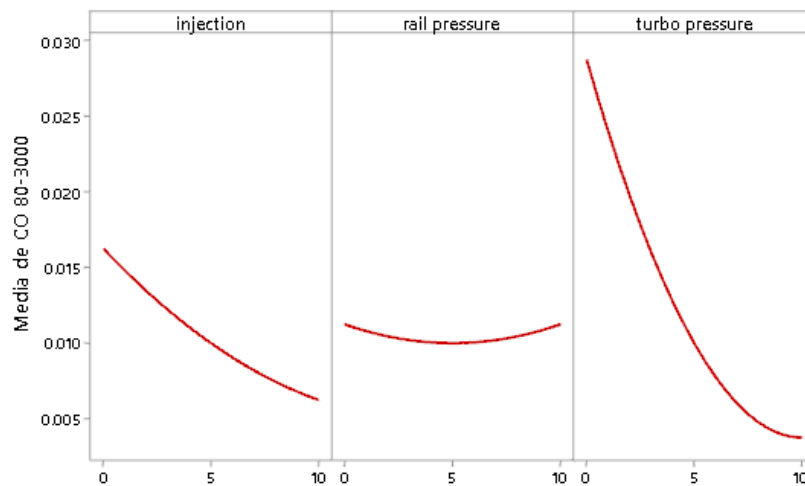


Ilustración 103 Gráfica de efectos principales para CO 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

En la gráfica se puede observar que el monóxido de carbono es máximo cuando los factores tienen la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 0%
- Presión de riel al 10%
- Presión de turbo al 0%

Por otro lado, se obtendrá el monóxido de carbono al mínimo cuando los factores tengan la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 10%
- Presión de riel al 5%
- Presión de turbo al 10%

CO 100% de carga a 3000 RPM

Respecto al CO en 100% de carga a 3000 RPM se observa que el factor que más interviene es la presión del turbo ya que mientras menos presión, existe mayores emisiones de CO en los gases del vehículo.

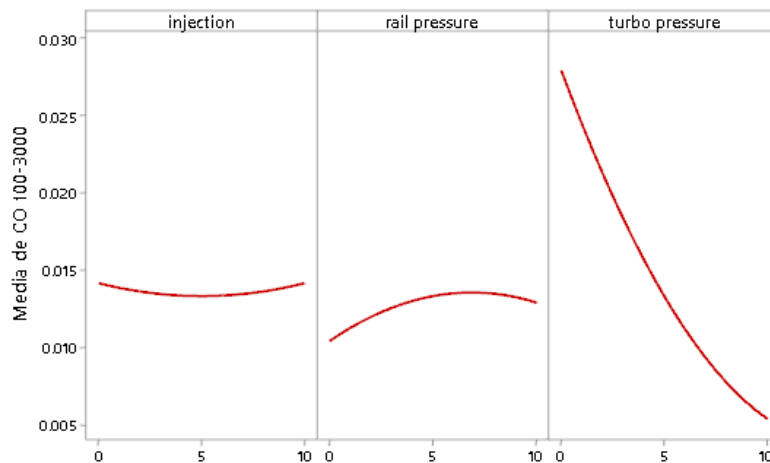


Ilustración 104 Gráfica de efectos principales para CO 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

En la gráfica se puede observar que el monóxido de carbono es máximo cuando los factores tienen la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 0%
- Presión de riel al 7%
- Presión de turbo al 0%

Por otro lado, se obtendrá el monóxido de carbono al mínimo cuando los factores tengan la siguiente configuración:

- Inyección por TPS al 5%
- Presión de riel al 0%
- Presión de turbo al 10%

Análisis de interacción entre parámetros

Gráficas de superficie de interacción de Potencia a 100% de carga a 2000 RPM

Analizando la gráfica se puede observar que la superficie tiene una variación bastante notoria, ya que se forman ondulaciones en esta, significando que estos dos parámetros (presión del rail e inyección por TPS) están interactuando significativamente entre sí, en todos los porcentajes impuestos en la programación.

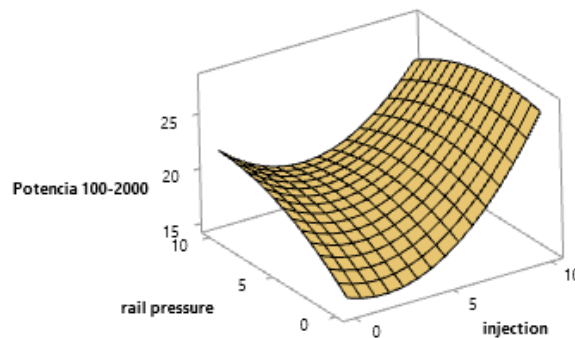


Ilustración 105 Gráfica superficie de Potencia 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

Gráficas de superficie de interacción de Potencia a 80% de carga a 2000 RPM

Analizando la gráfica se puede observar que la superficie tiene una variación bastante notoria, ya que se forman ondulaciones en esta, significando que estos dos parámetros (presión del rail e inyección por TPS) están interactuando significativamente entre sí, en todos los porcentajes impuestos en la programación.

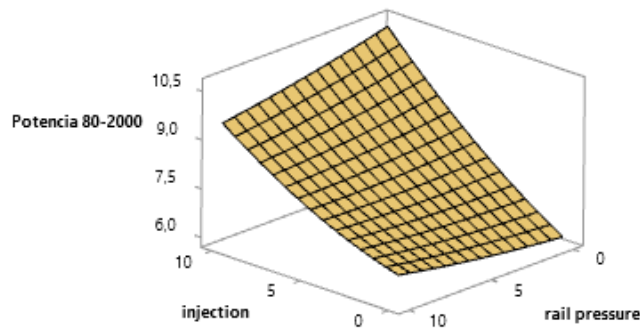


Ilustración 106 Gráfica superficie de Potencia 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

Gráficas de superficie de interacción de Potencia a 100% de carga a 3000 RPM

Analizando la gráfica se puede observar que la superficie tiene una variación bastante notoria, ya que se forman ondulaciones en esta, significando que estos dos parámetros (presión del rail e inyección por TPS) están interactuando significativamente entre sí, en todos los porcentajes impuestos en la programación.

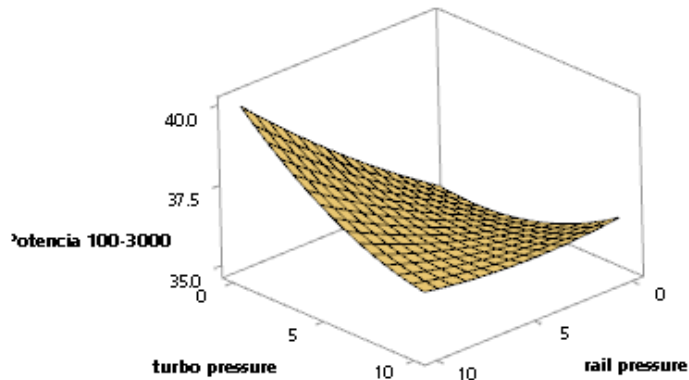


Ilustración 107 Gráfica superficie de Potencia 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

Gráficas de superficie de interacción de Potencia a 80% de carga a 3000 RPM

Analizando la gráfica se puede observar que la superficie tiene una variación bastante notoria, ya que se forman ondulaciones en esta, significando que estos dos parámetros (presión del rail e inyección por TPS) están interactuando significativamente entre sí, en todos los porcentajes impuestos en la programación.

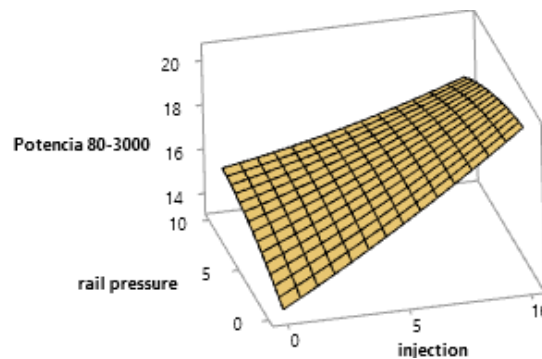


Ilustración 108 Gráfica superficie de Potencia 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

Gráficas de superficie de interacción de CO a 80% de carga a 3000 RPM

Analizando la gráfica se puede observar que la superficie tiene una variación bastante notoria, ya que se forman ondulaciones en esta, significando que estos dos parámetros (presión del rail e inyección por TPS) están interactuando significativamente entre sí, en todos los porcentajes impuestos en la programación.

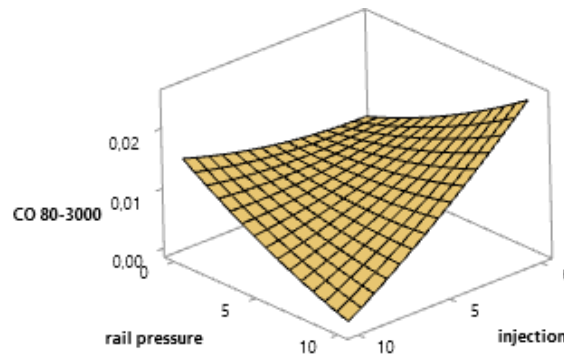


Ilustración 109 Gráfica superficie del CO 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

Gráficas de superficie de interacción de CO a 100% de carga a 3000 RPM

Analizando la gráfica se puede observar que la superficie tiene una variación bastante notoria, ya que se forman ondulaciones en esta, significando que estos dos parámetros (presión del rail e inyección por TPS) están interactuando significativamente entre sí, en todos los porcentajes impuestos en la programación.

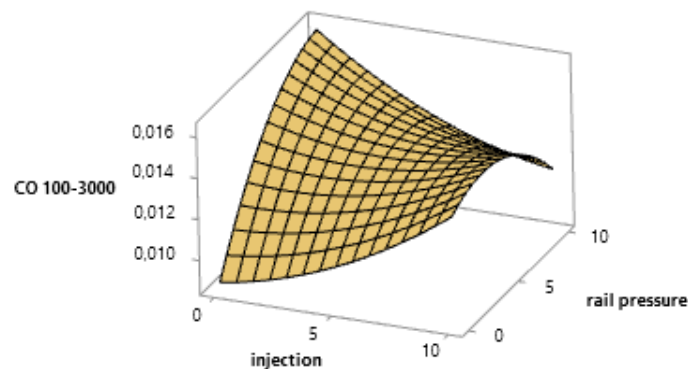


Ilustración 110 Gráfica superficie del CO 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

Gráficas de superficie de interacción de CO a 100% de carga a 2000 RPM

Analizando la gráfica se puede observar que la superficie tiene una variación bastante notoria, ya que se forman ondulaciones en esta, significando que estos dos parámetros (presión del rail e inyección por TPS) están interactuando significativamente entre sí, en todos los porcentajes impuestos en la programación.

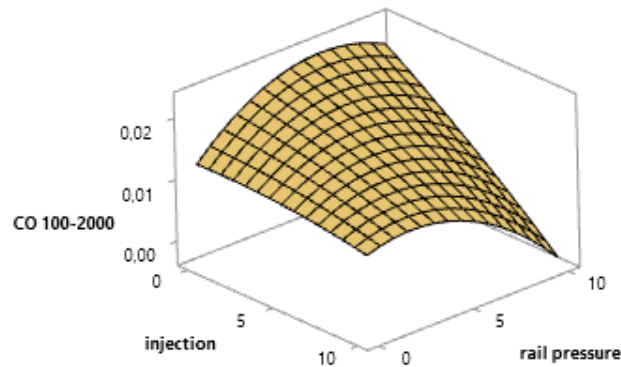


Ilustración 111 Gráfica superficie del CO 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

Gráficas de superficie de interacción de CO a 80% de carga a 2000 RPM

Analizando la gráfica se puede observar que la superficie tiene una variación bastante notoria, ya que se forman ondulaciones en esta, significando que estos dos parámetros (presión del rail e inyección por TPS) están interactuando significativamente entre sí, en todos los porcentajes impuestos en la programación.

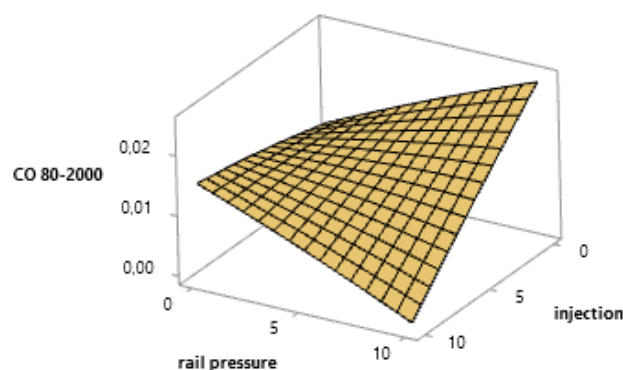


Ilustración 112 Gráfica superficie del CO 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

Gráficas de superficie de interacción de Fuerza tractora a 80% de carga a 2000 RPM

Analizando la gráfica se puede observar que la superficie tiene una variación bastante notoria, ya que se forman ondulaciones en esta, significando que estos dos parámetros (presión del rail e inyección por TPS) están interactuando significativamente entre sí, en todos los porcentajes impuestos en la programación.

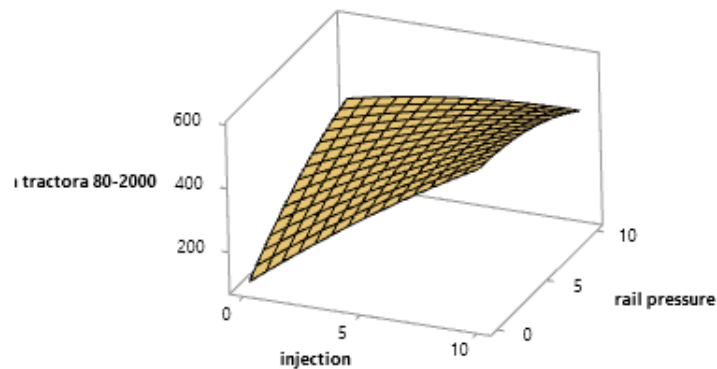


Ilustración 113 Gráfica superficie de fuerza tractora 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

Gráficas de superficie de interacción de Fuerza tractora a 100% de carga a 3000 RPM

Analizando la gráfica se puede observar que la superficie tiene una variación bastante notoria, ya que se forman ondulaciones en esta, significando que estos dos parámetros (presión del rail y presión de turbo) están interactuando significativamente entre sí, en todos los porcentajes impuestos en la programación.

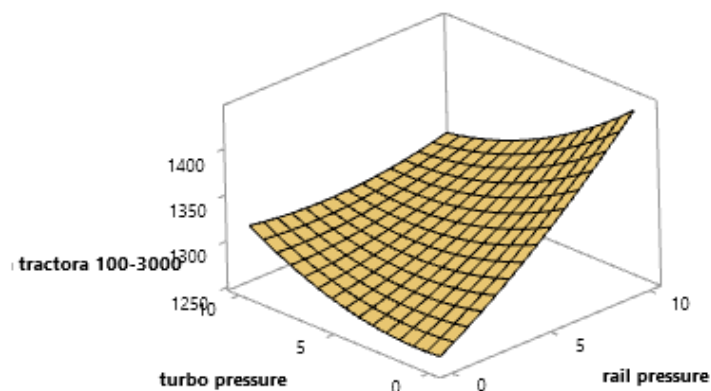


Ilustración 114 Gráfica superficie de fuerza tractora 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

Gráficas de superficie de interacción de Fuerza tractora a 100% de carga a 2000 RPM

Analizando la gráfica se puede observar que la superficie tiene una variación bastante notoria, ya que se forman ondulaciones en esta, significando que estos dos parámetros (presión del rail e inyección por TPS) están interactuando significativamente entre sí, en todos los porcentajes impuestos en la programación.

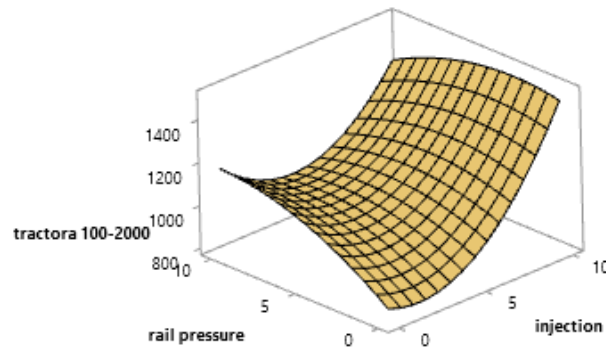


Ilustración 115 Gráfica superficie de fuerza tractora 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

Gráficas de superficie de interacción de material particulado a 100% de carga a 2000 RPM

Analizando la gráfica se puede observar que la superficie tiene una variación bastante notoria, ya que se forman ondulaciones en esta, significando que estos dos parámetros (presión del rail y presión del turbo) están interactuando significativamente entre sí, en todos los porcentajes impuestos en la programación.

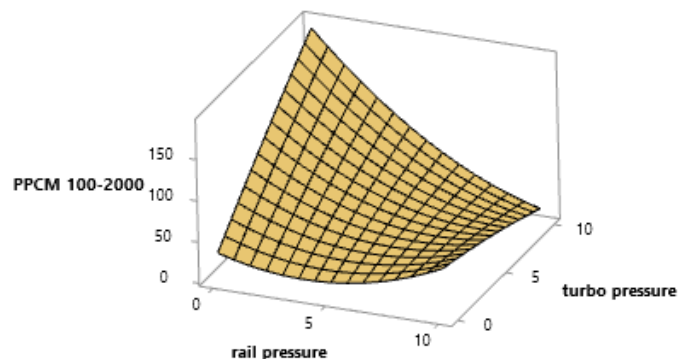


Ilustración 116 Gráfica superficie de material particulado 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

Gráficas de superficie de interacción de HC a 100% de carga a 2000 RPM

Analizando la gráfica se puede observar que la superficie tiene una variación bastante notoria, ya que se forman ondulaciones en esta, significando que estos dos parámetros (presión del turbo e inyección por TPS) están interactuando significativamente entre sí, en todos los porcentajes impuestos en la programación.

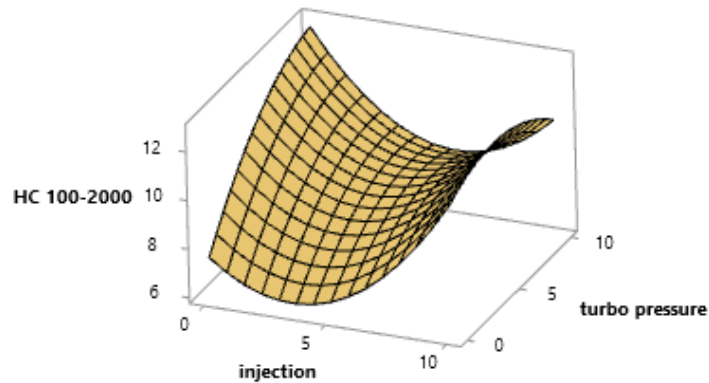


Ilustración 117 Gráfica superficie de HC 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

Gráficas de superficie de interacción de HC a 100% de carga a 3000 RPM

Analizando la gráfica se puede observar que la superficie tiene una variación bastante notoria, ya que se forman ondulaciones en esta, significando que estos dos parámetros (presión del turbo e inyección por TPS) están interactuando significativamente entre sí, en todos los porcentajes impuestos en la programación.

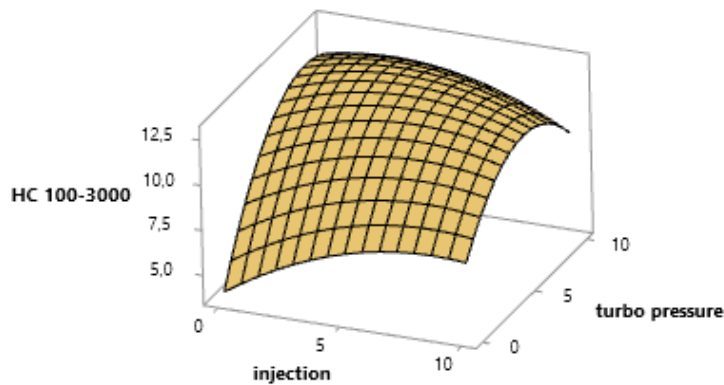


Ilustración 118 Gráfica superficie de HC 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

Gráficas de superficie de interacción de HC a 80% de carga a 3000 RPM

Analizando la gráfica se puede observar que la superficie tiene una variación bastante notoria, ya que se forman ondulaciones en esta, significando que estos dos parámetros (presión del rail e inyección por TPS) están interactuando significativamente entre sí, en todos los porcentajes impuestos en la programación.

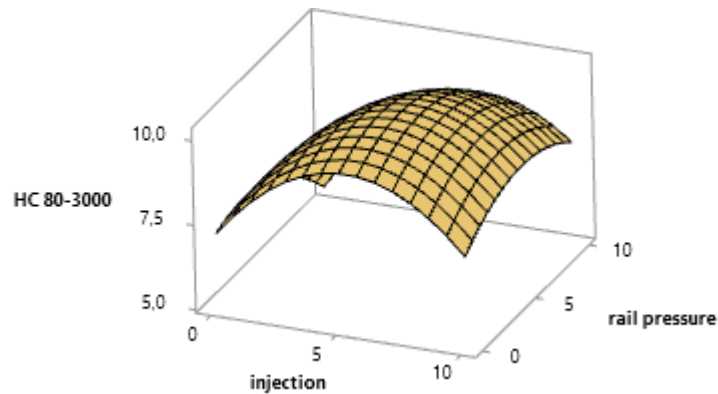


Ilustración 119 Gráfica superficie de HC 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

Gráficas de superficie de interacción de HC a 80% de carga a 3000 RPM

Analizando la gráfica se puede observar que la superficie tiene una variación bastante notoria, ya que se forman ondulaciones en esta, significando que estos dos parámetros (presión del turbo e inyección por TPS) están interactuando significativamente entre sí, en todos los porcentajes impuestos en la programación.

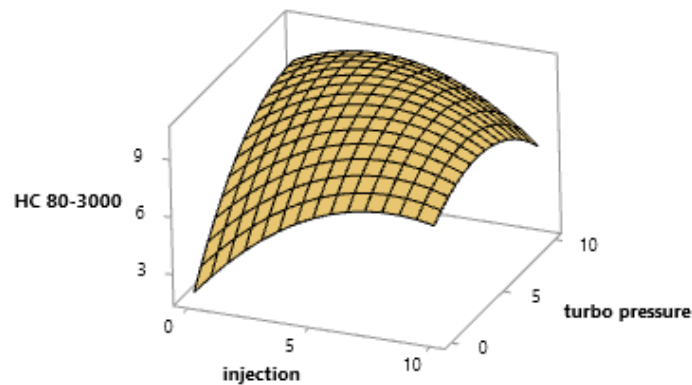


Ilustración 120 Gráfica superficie de HC 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

VARIABLES DE CONTROL

Temperatura del aceite

Como se puede observar en la siguiente gráfica encontramos las distintas temperaturas del aceite del motor el cual fue tomado por medio de un sensor al momento de recolectar los datos. Se observa que la mayor cantidad de muestras están entre 92°C y 104°C. Algunos de estos datos se encuentran fuera de este rango, esto se debe a que en las primeras pruebas el motor del vehículo no se había encendido hace bastante tiempo. Se concluye por medio de este gráfico que la temperatura del aceite del motor fue controlada ya que casi todos los valores tomados de las distintas pruebas se encuentran en el rango de 92°C y 104°C.

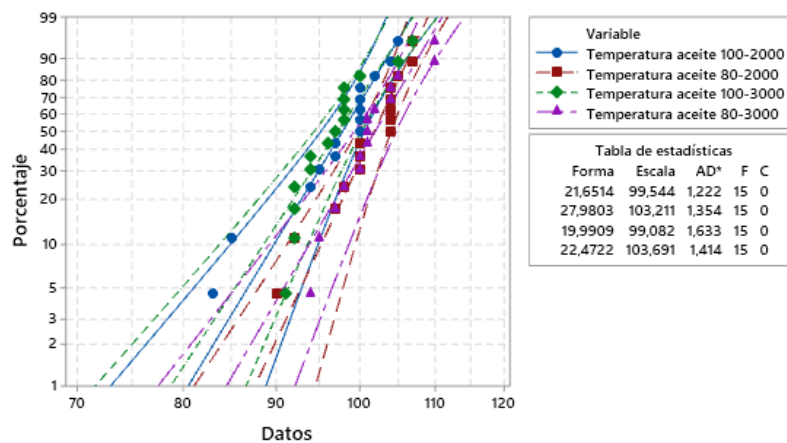


Ilustración 121 Gráfica de dispersión de temperatura del aceite

Fuente: Autores

Temperatura del diésel

Tal como lo muestra la gráfica, los datos tomados de la temperatura del diésel, durante las 60 pruebas, no están dispersados, ya que la mayoría de ellos se mantienen entre 45°C y 52.5°C. Aunque también existen valores picos, tanto por encima como por debajo de este grupo de valores mayoritarios. Estos picos son ocasionados por el calentamiento natural del combustible al está expuesto a la irradiación de calor del motor, mientras que los valores bajos se deben a causa de las pruebas iniciales, ya que el diésel aún no alcanza su temperatura ideal,

pero que, mediante el calefactor de combustible, este llegaba al grupo de temperaturas mayoritarias.

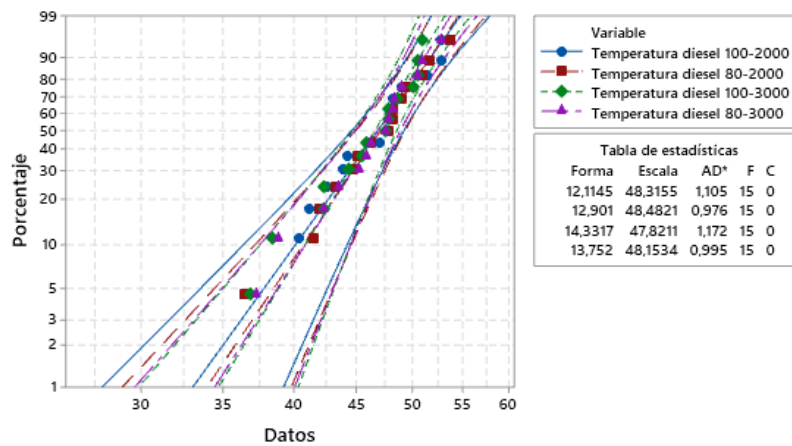


Ilustración 122 Gráfica de dispersión de temperatura del diésel

Fuente: Autores

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Optimización de mapas de la ECU

Una vez concluida la recolección de datos mediante la experimentación se debe optimizar los resultados, esto en búsqueda de la maximización de la fuerza tractora, la potencia y minimizar las emisiones de hidrocarburos no combustionados y el monóxido de carbono. Así se obtendrá mejores prestaciones del motor sin aumentar las emisiones de una forma exagerada

Optimización 1

En la primera optimización se tomó en cuenta los parámetros de las pruebas realizadas a 2000 rpms a 80 y 100 % de carga, está optimización se logró mediante un software de estadística. Esto tomando en cuenta los parámetros que se buscaba maximizar y cuales se buscaba minimizar.

Optimización 1	
Parámetro	Meta
Par motor 80-2000	Máximo
PM 80-2000	Mínimo
HC 80-2000	Mínimo
CO 80-2000	Mínimo
Fuerza tractora 80-2000	Máximo
Potencia 80-2000	Máximo
Par motor 100-2000	Máximo
PM 100-2000	Mínimo
HC 100-2000	Mínimo
CO 100-2000	Mínimo
Fuerza tractora 100-2000	Máximo
Potencia 100-2000	Máximo

Tabla 49 Tabla de parámetros a optimizar de la optimización #1

El resultado de esta optimización nos indica que:

- En el mapa de inyección por tps se debe implementar un incremento integral del 10%
- En el mapa de la presión de riel se debe implementar un incremento integral del 10%
- En el mapa de la presión del turbo se debe implementar un incremento integral del 9.04%

Optimización 1	
Parámetro	Valor %
Inyección	10
Presión de rail	10
Presión de turbo	9,04

Tabla 50 Tabla de optimización #1 para los mapas de la ECU

Optimización 2

Para esta optimización, se trabajó con los parámetros de las pruebas a 3000 rpm a 80 y 100% de carga, buscando los mismos resultados que la reprogramación anterior y utilizando el mismo método por software estadístico.

Optimización 2	
Parámetro	Meta
Par motor 80-3000	Máximo
PM 80-3000	Mínimo
HC 80-3000	Mínimo
CO 80-3000	Mínimo
Fuerza tractora 80-3000	Máximo
Potencia 80-3000	Máximo
Par motor 100-3000	Máximo
PM 100-3000	Mínimo
HC 100-3000	Mínimo
CO 100-3000	Mínimo
Fuerza tractora 100-3000	Máximo
Potencia 100-3000	Máximo

Tabla 51 Tabla de parámetros a optimizar de la optimización #2

El resultado de esta optimización nos indica que:

- En el mapa de inyección por tps se debe implementar un incremento integral del 10%
- En el mapa de la presión de riel se debe implementar un incremento integral del 6.26%
- En el mapa de la presión del turbo se debe implementar un incremento integral del 10%

Optimización 2	
Parámetro	Valor %
Inyección	10
Presión de rail	6,26
Presión de turbo	10

Tabla 52 Tabla de optimización #2 para los mapas de la ECU

Optimización 3

Para esta optimización, se trabajó con los parámetros de las pruebas a 2000 y 3000 rpm a 80 y 100% de carga, buscando los mismos resultados que la reprogramación anterior y utilizando el mismo método por software estadístico.

Optimización 3	
Parámetro	Meta
Par motor 80-2000	Máximo
PM 80-2000	Mínimo
HC 80-2000	Mínimo
CO 80-2000	Mínimo
Fuerza tractora 80-2000	Máximo
Potencia 80-2000	Máximo
Par motor 100-2000	Máximo
PM 100-2000	Mínimo
HC 100-2000	Mínimo
CO 100-2000	Mínimo
Fuerza tractora 100-2000	Máximo
Potencia 100-2000	Máximo
Par motor 80-3000	Máximo
PM 80-3000	Mínimo
HC 80-3000	Mínimo
CO 80-3000	Mínimo
Fuerza tractora 80-3000	Máximo
Potencia 80-3000	Máximo
Par motor 100-3000	Máximo
PM 100-3000	Mínimo
HC 100-3000	Mínimo
CO 100-3000	Mínimo
Fuerza tractora 100-3000	Máximo
Potencia 100-3000	Máximo

Tabla 53 Tabla de parámetros a optimizar de la optimización #3

El resultado de esta optimización nos indica que:

- En el mapa de inyección por tps se debe implementar un incremento integral del 10%
- En el mapa de la presión de riel se debe implementar un incremento integral del 8.48%
- En el mapa de la presión del turbo se debe implementar un incremento integral del 10%

Optimización 3	
Parámetro	Valor %
Inyección	10
Presión de rail	8,48
Presión de turbo	10

Tabla 54 Tabla de optimización #3 para los mapas de la ECU

Optimización 4

En esta optimización se se optimizo los parámetros de cada una de las pruebas que son:

- 2000 rpm a 100% de carga
- 2000 rpm a 80% de carga
- 3000 rpm a 100% de carga
- 3000 rpm a 80% de carga

buscando los mismos resultados que la reprogramación anterior y utilizando el mismo método por software estadístico. Esto a manera de generar varias optimizaciones para un mismo mapa y mejorarlo en varios regímenes.

Optimización 4							
Parámetro	Meta	Parámetro	Meta	Parámetro	Meta	Parámetro	Meta
Par motor 80-2000	Máximo	Par motor 100-2000	Máximo	Par motor 80-3000	Máximo	Par motor 100-3000	Máximo
PM 80-2000	Mínimo	PM 100-2000	Mínimo	PM 80-3000	Mínimo	PM 100-3000	Mínimo
HC 80-2000	Mínimo	HC 100-2000	Mínimo	HC 80-3000	Mínimo	HC 100-3000	Mínimo
CO 80-2000	Mínimo	CO 100-2000	Mínimo	CO 80-3000	Mínimo	CO 100-3000	Mínimo
Fuerza tractora 80-2000	Máximo	Fuerza tractora 100-2000	Máximo	Fuerza tractora 80-3000	Máximo	Fuerza tractora 100-3000	Máximo
Potencia 80-2000	Máximo	Potencia 100-2000	Máximo	Potencia 80-3000	Máximo	Potencia 100-3000	Máximo

Tabla 55 Tabla de parámetros a optimizar de la optimización #4

El resultado de esta optimización nos indica que:

- En el mapa de inyección por tps se debe implementar un incremento en la sección de 2000 a 80% de carga del 10%.
- En el mapa de inyección por tps se debe implementar un incremento en la sección de 2000 a 100% de carga del 10%.

- En el mapa de inyección por tps se debe implementar un incremento en la sección de 3000 a 80% de carga del 10%.
- En el mapa de inyección por tps se debe implementar un incremento en la sección de 3000 a 100% de carga del 10%.
- En el mapa de la presión de riel se debe implementar un incremento en la sección de 2000 a 80% de carga del 10%
- En el mapa de la presión de riel se debe implementar un incremento en la sección de 2000 a 100% de carga del 10%
- En el mapa de la presión de riel se debe implementar un incremento en la sección de 3000 a 80% de carga del 6.26%
- En el mapa de la presión de riel se debe implementar un incremento en la sección de 3000 a 100% de carga del 7.87%
- En el mapa de la presión del turbo se debe implementar un incremento en la sección de 2000 a 80% de carga del 4.24%
- En el mapa de la presión del turbo se debe implementar un incremento en la sección de 2000 a 100% de carga del 10%
- En el mapa de la presión del turbo se debe implementar un incremento en la sección de 3000 a 80% de carga del 10%
- En el mapa de la presión del turbo se debe implementar un incremento en la sección de 3000 a 100% de carga del 10%

Optimización 4							
Parámetro	Valor %	Parámetro	Valor %	Parámetro	Valor %	Parámetro	Valor %
Inyección	10	Inyección	10	Inyección	10	Inyección	10
Presión de rail	10	Presión de rail	10	Presión de rail	6,26	Presión de rail	7,87
Presión de turbo	4,24	Presión de turbo	10	Presión de turbo	10	Presión de turbo	10

Tabla 56 Tabla de optimización #4 para los mapas de la ECU

Resultados de optimizaciones

En las siguientes tablas se puede observar los valores obtenidos en el banco dinamométrico de potencia de la Universidad Politécnica Salesiana, los mismo que se procederá a comparar para determinar cuál es la optimización más efectiva para el motor del Hyundai Getz 1.5 CRDI. Si bien no todos los valores fueron optimizados, igualmente entrarán en la comparativa de valores.

Resultados Optimización a 2000 RPM a 80% y 100% de carga

Optimización 1		
Parámetro	Valor	Unidad
Régimen de giro	2000	RPM
Carga	100	%
Fuerza tractora	1376	N
Potencia	26,7	KW
CO	0,02	% vol
CO2	12,1	% vol
HC	6	ppm vol
O2	5,11	% vol
NOx	492	ppm vol
PM	26,13	mg/cm3

Tabla 57 Tabla de resultados de la optimización #1 @ 2000 rpm y 100% de carga

Optimización 1		
Parámetro	Valor	Unidad
Régimen de giro	2000	RPM
Carga	80	%
Fuerza tractora	507	N
Potencia	9,8	KW
CO	0,01	% vol
CO2	9,3	% vol
HC	7	ppm vol
O2	8,34	% vol
NOx	401	ppm vol
PM	15,16	mg/cm3

Tabla 58 Tabla de resultados de la optimización #1 @ 2000 rpm y 80% de carga

Optimización 1		
Parámetro	Valor	Unidad
Régimen de giro	3000	RPM
Carga	100	%
Fuerza tractora	1379	N
Potencia	41,3	KW
CO	0,02	% vol
CO2	11,7	% vol
HC	10	ppm vol
O2	5,47	% vol
NOx	456	ppm vol
PM	172,1	mg/cm3

Tabla 59 Tabla de resultados de la optimización #1 @ 3000 rpm y 100% de carga

Optimización 1		
Parámetro	Valor	Unidad
Régimen de giro	3000	RPM
Carga	80	%
Fuerza tractora	794	N
Potencia	23	KW
CO	0,02	% vol
CO2	9,6	% vol
HC	9	ppm vol
O2	6,27	% vol
NOx	451	ppm vol
PM	42,91	mg/cm3

Tabla 60 Tabla de resultados de la optimización #1 @ 3000 rpm y 80% de carga

Resultados Optimización a 3000 RPM a 80% y 100% de carga

Optimización 2		
Parámetro	Valor	Unidad
Régimen de giro	2000	RPM
Carga	100	%
Fuerza tractora	1339	N
Potencia	25,9	KW
CO	0,01	% vol
CO2	13	% vol
HC	13	ppm vol
O2	3,6	% vol
NOx	411	ppm vol
PM	216,5	mg/cm3

Tabla 61 Tabla de resultados de la optimización #2 @ 2000 rpm y 100% de carga

Optimización 2		
Parámetro	Valor	Unidad
Régimen de giro	2000	RPM
Carga	80	%
Fuerza tractora	463	N
Potencia	8,9	KW
CO	0,01	% vol
CO2	9,4	% vol
HC	12	ppm vol
O2	8,17	% vol
NOx	376	ppm vol
PM	32,37	mg/cm3

Tabla 62 Tabla de resultados de la optimización #2 @ 2000 rpm y 80% de carga

Optimización 2		
Parámetro	Valor	Unidad
Régimen de giro	3000	RPM
Carga	100	%
Fuerza tractora	1352	N
Potencia	39,2	KW
CO	0,02	% vol
CO2	11,5	% vol
HC	12	ppm vol
O2	5,45	% vol
NOx	440	ppm vol
PM	234,2	mg/cm3

Tabla 63 Tabla de resultados de la optimización #2 @ 3000 rpm y 100% de carga

Optimización 2		
Parámetro	Valor	Unidad
Régimen de giro	3000	RPM
Carga	80	%
Fuerza tractora	673	N
Potencia	19,5	KW
CO	0,02	% vol
CO2	9,2	% vol
HC	11	ppm vol
O2	8,52	% vol
NOx	386	ppm vol
PM	168	mg/cm3

Tabla 64 Tabla de resultados de la optimización #2 @ 3000 rpm y 100% de carga

Resultados Optimización a 2000 y 3000 RPM a 80% y 100% de carga

Optimización 3		
Parámetro	Valor	Unidad
Régimen de giro	2000	RPM
Carga	100	%
Fuerza tractora	1294	N
Potencia	25	KW
CO	0,02	% vol
CO2	12,5	% vol
HC	12	ppm vol
O2	4,23	% vol
NOx	448	ppm vol
PM	56,6	mg/cm3

Tabla 65 Tabla de resultados de la optimización #3 @ 2000 rpm y 100% de carga

Optimización 3		
Parámetro	Valor	Unidad
Régimen de giro	2000	RPM
Carga	80	%
Fuerza tractora	596	N
Potencia	11,5	KW
CO	0,02	% vol
CO2	10,3	% vol
HC	14	ppm vol
O2	6,93	% vol
NOx	407	ppm vol
PM	28,81	mg/cm3

Tabla 66 Tabla de resultados de la optimización #3 @ 2000 rpm y 80% de carga

Optimización 3		
Parámetro	Valor	Unidad
Régimen de giro	3000	RPM
Carga	100	%
Fuerza tractora	1352	N
Potencia	40,1	KW
CO	0,02	% vol
CO2	11,6	% vol
HC	14	ppm vol
O2	5,41	% vol
NOx	464	ppm vol
PM	211,8	mg/cm3

Tabla 67 Tabla de resultados de la optimización #3 @ 3000 rpm y 100% de carga

Optimización 3		
Parámetro	Valor	Unidad
Régimen de giro	3000	RPM
Carga	80	%
Fuerza tractora	747	N
Potencia	21,6	KW
CO	0,02	% vol
CO2	9,2	% vol
HC	11	ppm vol
O2	8,68	% vol
NOx	405	ppm vol
PM	306,7	mg/cm3

Tabla 68 Tabla de resultados de la optimización #3 @ 3000 rpm y 80% de carga

Resultados Optimización escalonada a regímenes de 2000 3000 a 2000 y 3000 RPM a 80% y 100% de carga

Optimización 4		
Parámetro	Valor	Unidad
Régimen de giro	2000	RPM
Carga	100	%
Fuerza tractora	1375	N
Potencia	26,5	KW
CO	0,02	% vol
CO2	12,3	% vol
HC	5	ppm vol
O2	4,3	% vol
NOx	570	ppm vol
PM	39,42	mg/cm3

Tabla 69 Tabla de resultados de la optimización #4 @ 2000 rpm y 100% de carga

Optimización 4		
Parámetro	Valor	Unidad
Régimen de giro	2000	RPM
Carga	80	%
Fuerza tractora	538	N
Potencia	10,4	KW
CO	0,02	% vol
CO2	9,9	% vol
HC	5	ppm vol
O2	7,12	% vol
NOx	473	ppm vol
PM	21,23	mg/cm3

Tabla 70 Tabla de resultados de la optimización #4 @ 2000 rpm y 80% de carga

Optimización 4		
Parámetro	Valor	Unidad
Régimen de giro	3000	RPM
Carga	100	%
Fuerza tractora	1438	N
Potencia	41,6	KW
CO	0,02	% vol
CO2	11,6	% vol
HC	6	ppm vol
O2	5,23	% vol
NOx	542	ppm vol
PM	184,4	mg/cm3

Tabla 71 Tabla de resultados de la optimización #4 @ 3000 rpm y 100% de carga

Optimización 4		
Parámetro	Valor	Unidad
Régimen de giro	3000	RPM
Carga	80	%
Fuerza tractora	821	N
Potencia	23,6	KW
CO	0,02	% vol
CO2	9,1	% vol
HC	7	ppm vol
O2	8,71	% vol
NOx	373	ppm vol
PM	100,4	mg/cm3

Tabla 72 Tabla de resultados de la optimización #4 @ 3000 rpm y 80% de carga

Original

Original		
Parámetro	Valor	Unidad
Régimen de giro	2000	RPM
Carga	100	%
Fuerza tractora	1169	N
Potencia	21,6	KW
CO	0,03	% vol
CO2	11,5	% vol
HC	9	ppm vol
O2	4,94	% vol
NOx	523	ppm vol
PM	22,3	mg/cm3

Tabla 73 Tabla de resultados del mapa original @ 2000 rpm y 100% de carga

Original		
Parámetro	Valor	Unidad
Régimen de giro	2000	RPM
Carga	80	%
Fuerza tractora	455	N
Potencia	8,3	KW
CO	0,01	% vol
CO2	7,8	% vol
HC	2	ppm vol
O2	10,27	% vol
NOx	345	ppm vol
PM	21,88	mg/cm3

Tabla 74 Tabla de resultados del mapa original @ 2000 rpm y 80% de carga

Original		
Parámetro	Valor	Unidad
Régimen de giro	3000	RPM
Carga	100	%
Fuerza tractora	1238	N
Potencia	35,6	KW
CO	0,01	% vol
CO2	10	% vol
HC	5	ppm vol
O2	7,87	% vol
NOx	395	ppm vol
PM	119	mg/cm3

Tabla 75 Tabla de resultados del mapa original @ 3000 rpm y 100% de carga

Original		
Parámetro	Valor	Unidad
Régimen de giro	3000	RPM
Carga	80	%
Fuerza tractora	494	N
Potencia	13,6	KW
CO	0,02	% vol
CO2	7,7	% vol
HC	3	ppm vol
O2	10,57	% vol
NOx	260	ppm vol
PM	103,2	mg/cm3

Tabla 76 Tabla de resultados del mapa original @ 3000 rpm y 80% de carga

Predicción de resultados mediante software

Utilizando un software de procesamiento de datos estadísticos se generó una predicción de los datos de los parámetros de las optimizaciones. Esto a manera de comprobación de lo obtenido en el banco dinamométrico.

Comparación datos predichos mediante software y reales

Optimización 1

Optimización 1				
Parámetro	Valor teórico	Valor real	% error	Unidad
Régimen de giro	2000	2000		RPM
Carga	100	100		%
Fuerza tractora	1056,61	1376	23,2114826	N
Potencia	19,74	26,7	26,0674157	KW
CO	0,01	0,02	50	% vol
CO2	12,38	12,1	-2,31404959	% vol
HC	8,28	6	-38	ppm vol
O2	5,1	5,11	0,19569472	% vol
NOx	442,68	492	10,0243902	ppm vol
PM	3,71	26,13	85,8017604	mg/cm3

Tabla 77 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 1 @ 2000 rpm y 100% de carga

Optimización 1				
Parámetro	Valor teórico	Valor real	% error	Unidad
Régimen de giro	2000	2000		RPM
Carga	80	80		%
Fuerza tractora	458,34	507	9,59763314	N
Potencia	9,45	9,8	3,57142857	KW
CO	0,01	0,01	0	% vol
CO2	9,76	9,3	-4,94623656	% vol
HC	8,22	7	-17,4285714	ppm vol
O2	7,27	8,34	12,8297362	% vol
NOx	458,48	401	-14,3341646	ppm vol
PM	4,91	15,16	67,6121372	mg/cm3

Tabla 78 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 1 @ 2000 rpm y 80% de carga

Optimización 1				
Parámetro	Valor teórico	Valor real	% error	Unidad
Régimen de giro	3000	3000		RPM
Carga	100	100		%
Fuerza tractora	1444,82	1379	-4,77302393	N
Potencia	40,27	41,3	2,49394673	KW
CO	0,005	0,02	75	% vol
CO2	11,7	11,7	0	% vol
HC	8,05	10	19,5	ppm vol
O2	5,13	5,47	6,21572212	% vol
NOx	523,17	456	-14,7302632	ppm vol
PM	59,81	172,1	65,2469494	mg/cm3

Tabla 79 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 1 @ 3000 rpm y 100% de carga

Optimización 1				
Parámetro	Valor teórico	Valor real	% error	Unidad
Régimen de giro	3000	3000		RPM
Carga	80	80		%
Fuerza tractora	707,79	794	10,8576826	N
Potencia	19,63	23	14,6521739	KW
CO	0,01	0,02	50	% vol
CO2	9,31	9,6	3,02083333	% vol
HC	5,97	9	33,6666667	ppm vol
O2	7,94	6,27	-26,6347687	% vol
NOx	380,13	451	15,713969	ppm vol
PM	8,13	42,91	81,0533675	mg/cm3

Tabla 80 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 1 @ 3000 rpm y 80% de carga

Optimización 2

Optimización 2				
Parámetro	Valor teórico	Valor real	% error	Unidad
Régimen de giro	2000	2000		RPM
Carga	100	100		%
Fuerza tractora	1051,44	1339	21,4757282	N
Potencia	19,78	25,9	23,6293436	KW
CO	0,001	0,01	90	% vol
CO2	11,98	13	7,84615385	% vol
HC	10,06	13	22,6153846	ppm vol
O2	6,01	3,6	-66,9444444	% vol
NOx	370,71	411	9,80291971	ppm vol
PM	46,8	216,5	78,3833718	mg/cm3

Tabla 81 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 2 @ 2000 rpm y 100% de carga

Optimización 2				
Parámetro	Valor teórico	Valor real	% error	Unidad
Régimen de giro	2000	2000		RPM
Carga	80	80		%
Fuerza tractora	546,04	463	-17,9352052	N
Potencia	9,67	8,9	-8,65168539	KW
CO	0,004	0,01	60	% vol
CO2	9,71	9,4	-3,29787234	% vol
HC	8,25	12	31,25	ppm vol
O2	7,45	8,17	8,8127295	% vol
NOx	442,19	376	-17,6037234	ppm vol
PM	9,11	32,37	71,8566574	mg/cm3

Tabla 82 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 2 @ 2000 rpm y 80% de carga

Optimización 2				
Parámetro	Valor teórico	Valor real	% error	Unidad
Régimen de giro	3000	3000		RPM
Carga	100	100		%
Fuerza tractora	1443,77	1352	-6,78772189	N
Potencia	40,51	39,2	-3,34183673	KW
CO	0,002	0,02	90	% vol
CO2	11,6	11,5	-0,86956522	% vol
HC	8,99	12	25,0833333	ppm vol
O2	5,59	5,45	-2,56880734	% vol
NOx	448,24	440	-1,87272727	ppm vol
PM	3,08	234,2	98,6848847	mg/cm3

Tabla 83 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 2 @ 3000 rpm y 100% de carga

Optimización 2				
Parámetro	Valor teórico	Valor real	% error	Unidad
Régimen de giro	3000	3000		RPM
Carga	80	80		%
Fuerza tractora	772,28	673	-14,7518574	N
Potencia	21,4	19,5	-9,74358974	KW
CO	0,004	0,02	80	% vol
CO2	9,21	9,2	-0,10869565	% vol
HC	6,04	11	45,0909091	ppm vol
O2	8,42	8,52	1,17370892	% vol
NOx	356,11	386	7,74352332	ppm vol
PM	30,68	168	81,7380952	mg/cm3

Tabla 84 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 2 @ 3000 rpm y 80% de carga

Optimización 3

Optimización 3				
Parámetro	Valor teórico	Valor real	% error	Unidad
Régimen de giro	2000	2000		RPM
Carga	100	100		%
Fuerza tractora	996,29	1294	23,0069552	N
Potencia	18,72	25	25,12	KW
CO	0,005	0,02	75	% vol
CO2	11,96	12,5	4,32	% vol
HC	8,79	12	26,75	ppm vol
O2	5,98	4,23	-41,3711584	% vol
NOx	400,02	448	10,7098214	ppm vol
PM	10,32	56,6	81,7667845	mg/cm3

Tabla 85 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 3 @ 2000 rpm y 100% de carga

Optimización 3				
Parámetro	Valor teórico	Valor real	% error	Unidad
Régimen de giro	2000	2000		RPM
Carga	80	80		%
Fuerza tractora	504,22	596	15,3993289	N
Potencia	9,49	11,5	17,4782609	KW
CO	0,009	0,02	55	% vol
CO2	9,71	10,3	5,72815534	% vol
HC	7,73	14	44,7857143	ppm vol
O2	7,37	6,93	-6,34920635	% vol
NOx	458,67	407	-12,6953317	ppm vol
PM	5,02	28,81	82,5754946	mg/cm3

Tabla 86 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 3 @ 2000 rpm y 80% de carga

Optimización 3				
Parámetro	Valor teórico	Valor real	% error	Unidad
Régimen de giro	3000	3000		RPM
Carga	100	100		%
Fuerza tractora	1438,36	1352	-6,38757396	N
Potencia	40,24	40,1	-0,34912718	KW
CO	0,006	0,02	70	% vol
CO2	11,61	11,6	-0,0862069	% vol
HC	8,15	14	41,7857143	ppm vol
O2	5,39	5,41	0,36968577	% vol
NOx	490,52	464	-5,71551724	ppm vol
PM	70,55	211,8	66,6902738	mg/cm3

Tabla 87 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 3 @ 3000 rpm y 100% de carga

Optimización 3				
Parámetro	Valor teórico	Valor real	% error	Unidad
Régimen de giro	3000	3000		RPM
Carga	80	80		%
Fuerza tractora	745,17	747	0,24497992	N
Potencia	20,69	21,6	4,21296296	KW
CO	0,008	0,02	60	% vol
CO2	9,24	9,2	-0,43478261	% vol
HC	5,6	11	49,0909091	ppm vol
O2	8,1	8,68	6,68202765	% vol
NOx	380,57	405	6,03209877	ppm vol
PM	9,67	306,7	96,8470818	mg/cm3

Tabla 88 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 3 @ 3000 rpm y 80% de carga

Optimización 4

Optimización 4				
Parámetro	Valor teórico	Valor real	% error	Unidad
Régimen de giro	2000	2000		RPM
Carga	100	100		%
Fuerza tractora	943,08	1375	31,4123636	N
Potencia	17,69	26,5	33,245283	KW
CO	0,01	0,02	50	% vol
CO2	12,02	12,3	2,27642276	% vol
HC	7,66	5	-53,2	ppm vol
O2	5,8	4,3	-34,8837209	% vol
NOx	426,7	570	25,1403509	ppm vol
PM	7,4	39,42	81,2278031	mg/cm3

Tabla 89 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 4 @ 2000 rpm y 100% de carga

Optimización 4				
Parámetro	Valor teórico	Valor real	% error	Unidad
Régimen de giro	2000	2000		RPM
Carga	80	80		%
Fuerza tractora	438,28	538	18,535316	N
Potencia	9,51	10,4	8,55769231	KW
CO	0,002	0,02	90	% vol
CO2	9,88	9,9	0,2020202	% vol
HC	9,35	5	-87	ppm vol
O2	7,21	7,12	-1,26404494	% vol
NOx	426,24	473	9,8858351	ppm vol
PM	9,42	21,23	55,6288271	mg/cm3

Tabla 90 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 4 @ 2000 rpm y 80% de carga

Optimización 4				
Parámetro	Valor teórico	Valor real	% error	Unidad
Régimen de giro	3000	3000		RPM
Carga	100	100		%
Fuerza tractora	1439,46	1438	-0,1015299	N
Potencia	40,31	41,6	3,10096154	KW
CO	0,005	0,02	75	% vol
CO2	11,61	11,6	-0,0862069	% vol
HC	8,49	6	-41,5	ppm vol
O2	5,46	5,23	-4,39770554	% vol
NOx	477,5	542	11,900369	ppm vol
PM	49,52	184,4	73,1453362	mg/cm3

Tabla 91 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 4 @ 3000 rpm y 100% de carga

Optimización 4				
Parámetro	Valor teórico	Valor real	% error	Unidad
Régimen de giro	3000	3000		RPM
Carga	80	80		%
Fuerza tractora	772,28	821	5,93422655	N
Potencia	21,4	23,6	9,3220339	KW
CO	0,004	0,02	80	% vol
CO2	9,21	9,1	-1,20879121	% vol
HC	6,04	7	13,7142857	ppm vol
O2	8,42	8,71	3,32950631	% vol
NOx	356,11	373	4,52815013	ppm vol
PM	30,68	100,4	69,4422311	mg/cm3

Tabla 92 Tabla comparativa entre datos teóricos y reales de la Optimización 4 @ 3000 rpm y 80% de carga

Resultados finales

Como se puede observar entre todas las tablas de comparación de parámetros reales y teóricos, la reprogramación número 4 es la que mejor se comporta y más se asemeja a la teórica, pero con el incremento de torque y potencia más significativos. Respecto a los parámetros reales que tienen demasiada diferencia con sus contrapartes teóricas, esto se debe a que en sus mecanismos de formación existen variables que no son lineales por motivos de que es un experimento práctico donde la existencia de variables que no se pueden controlar afectan a los resultados de la predicción teórica, siendo esta la razón por la cual el programa no pudo predecir con exactitud. Además, que los procesos de combustión diésel están sujetos a ciertos fenómenos que vuelven aún más complicada la predicción de la formación de gases al terminar este proceso.

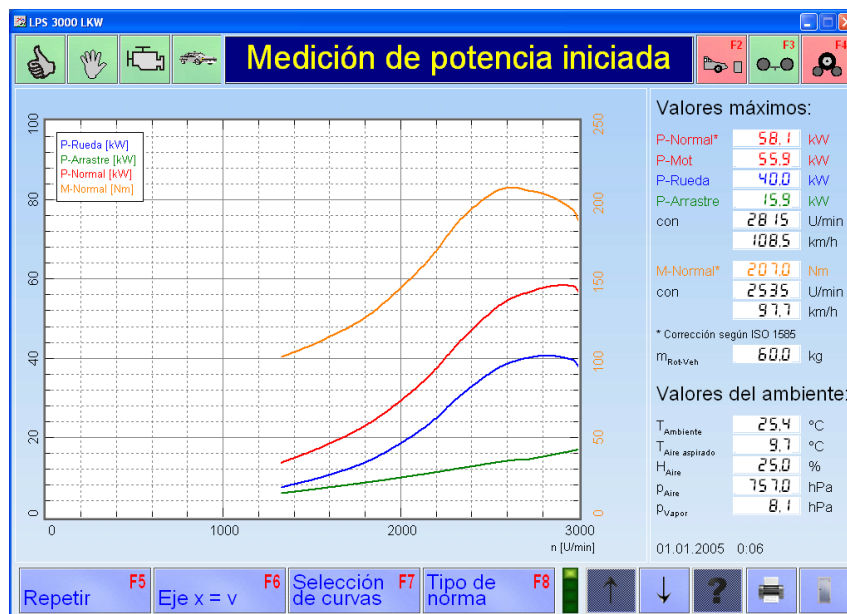


Ilustración 123 Medición final de potencia con la optimización 4 en el banco dinamométrico

Fuente: Autores

CONCLUSIONES

El motor Diésel al ser de combustión interna sufre una disminución de eficiencia al estar en lugares con altas altitudes. Por consiguiente, la finalidad de este proyecto fue optimizar el motor Diésel del vehículo Hyundai Getz 1.5 CRDI mediante la modificación de los mapas del motor. Para determinar los mapas a modificar se debió recurrir al análisis del funcionamiento de un motor diésel con sistema CRDI, donde la presión extremadamente alta en el riel, es el encargado de mejorar las prestaciones y reducir las emisiones al mínimo, otro factor clave es la presión del turbo, ya que para mejorar la potencia y torque se optó en usarlos, basándose en los principios de los motores de combustión interna, a mayor cantidad de aire se puede inyectar una mayor cantidad de combustible para así obtener una explosión mucho más fuerte, lo que se traduce en un mayor par y potencia. Finalmente, también se consideró la inyección por TPS, un factor que incluso en los vehículos a gasolina es clave para ganar potencia.

Se procedió a la realización de distintas pruebas con el uso de un banco dinamométrico, opacímetro y analizador de gases con el motivo de obtener una amplia base de datos y optimizar los mapas de motor con el uso de estadística. La obtención de los mapas se los debe llevar a cabo con un dispositivo capaz de leerlos y modificarlos, siendo la manera más segura y sencilla mediante OBD-II. Algo muy importante previo a la obtención de los mapas de la ECU original, es el realizar pruebas dinámicas en un banco de potencia, ya que son los valores para compararse con los resultados finales, siendo estos el torque y la potencia principalmente.

Para poder modificar los mapas adecuadamente, es necesario establecer un método que permita analizar las variables de entrada que se eligió para este apartado, para ello se utilizó el diseño de experimentos, iniciando con Box-Benkhen, para, mediante intervalos de porcentajes poder variar los parámetros seleccionado que son la inyección por TPS, la presión de riel y la presión

de turbo. Se planteó 3 intervalos con saltos de 5% iniciando en cero y terminando en el 10. Con esta variación de porcentajes se consiguió 15 variaciones para reprogramar la ECU. Una vez se reprogramó con cada una de las variaciones se debía realizar pruebas a RPM constante en dos regímenes de vueltas y en dos regímenes de carga, siendo un total de 60 pruebas para la obtención de datos de las variables del experimento. Finalmente, estos datos se las ingresó en un software estadístico para su análisis, optimizaciones y predicciones de resultados con la implementación de mejoras en la programación de la ECU.

Los resultados del estudio fueron favorables ya que se encontró la optimización perfecta para este motor en la ciudad de Cuenca. Esta optimización consta de un aumento en los valores originales de los mapas del motor los cuales son valores escalonados que se pueden visualizar en la optimización número 4 del documento. Al implementar estos valores en los mapas del motor de forma escalonada con respecto a las RPM y la carga del motor; el resultado fue un aumento significativo en las prestaciones del motor consiguiendo aumentar 10 HP y 30 Nm, esto tomando en cuenta el tamaño del vehículo y del motor, con un mínimo aumento de emisiones (NO_x, HC, material particulado) mientras que otras emisiones (CO, CO₂, O₂) se mantuvieron estables con respecto a los valores estándares del vehículo.

Respecto al aumento de ciertas emisiones y las predicciones realizadas por el software no fueron del todo acertadas en todos los datos, es debido propiamente a la fenomenología de la combustión diésel, en el cual existen muchos parámetros que no se puede controlar, además del mecanismo de formación de las variables de salida, que, al no ser lineales en situaciones específicas, el modelo matemático formulado por el software pierde su precisión en ciertas variables

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el proceso de reprogramación en vehículos que contengan comunicación OBD-II integral.
- Se recomienda la utilización de software y hardware original de reprogramación para contar con respaldos y actualización para todos los vehículos.
- Para un óptimo resultado frente a las pruebas es recomendable que no existan variaciones en las condiciones generales específicamente en las variables de control y las variables de ruido.
- Procurar que todos los equipos utilizados en el estudio estén en óptimas condiciones y configurados adecuadamente para el vehículo a analizarse.

Lista de referencias

- Lapuerta, Magín, Armas, Octavio, Agudelo, John R, & Sánchez, Carlos A. (2006). Estudio del Efecto de la Altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión Interna. Parte 1: Funcionamiento. *Información tecnológica*, 17(5), 21-30. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000500005>
- Rivera, N. (2015). Estudio del comportamiento de un motor ciclo otto de inyección electrónica respecto a la estequiometría de la mezcla y del adelanto del encendido para la ciudad de Cuenca.
- Personajes Históricos, “Rudolf Diesel: Biografía, aportes, inventos, frases, y más”. (2018). Retrieved from <https://personajeshistoricos.com/c-empresario/rudolf-diesel/>
- Julían, Sol, R., Jana, Morales, A., Ratzel, Alex, . . . Guachamin, G. (n.d.). Motores diésel, cómo funciona, ventajas y desventajas. Retrieved from <https://www.rod-des.com/mecanica/motores-diesel/>
- Carvajal, C. (2007). Calidad Aire en Cuenca, Ecuador. Retrieved from <https://es.slideshare.net/aranyaseca/calidad-aire-en-cuenca-ecuador>
- RedNTP. (2021). Curso Reprogramación de Vehículos Nivel Iniciación: Red NTP. Retrieved from <https://www.redntp.com/pagina/curso-reprogramación-de-vehículos-nivel-iniciación>
- LitchField motors. (2019). Ecutek Nissan GT-R software – Now with Live tuning! Retrieved from <https://www.litchfieldmotors.com/blog/ecutek-nissan-gt-r-software-now-with-live-tuning/>
- UOBDII. (2017). New KESS V2 FW 5.017 read Nissan Pathfinder YD25 ECU How? Retrieved from <https://blog.uobdii.com/new-kess-v2-fw-5-017-read-nissan-pathfinder-yd25-ecu-how/>
- Ingeniería de Calidad. (2020). Ciclo de Deming: Metodología de mejora continua: PDCA - PHVA. Retrieved from <https://www.ingenieriadecalidad.com/2020/02/ciclo-de-deming.html>
- Hyundai Motors. (2011) Manual de usuario Hyundai Getz 1.5 CRDI
- Ruta Motor. (2013). Hyundai Getz 2007-4. Retrieved from <https://www.rutamotor.com/hyundai-getz-1-4l-5mt-2007-cambiar-no-cuestanada/hyundai-getz-2007-4/>
- GUEMCar. (n.d.). KESSv2 Slave (Hardware) Activación de protocolo Slave ... Retrieved from <https://www.solucionesguemacar.es/tienda/herramientas/catalogo/kessv2-slave-detail/>
- Picclick. (n.d.). ECM Titanium v1.61 With 18,000 Drivers -remap software tuning software • EUR 8,16. Retrieved from <https://picclick.fr/ECM-Titanium-v161-With-18000-Drivers-remap-software-222987293785.html>

MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co KG. (n.d.). MET 6.2 Analizador de gases diésel. Retrieved from <https://www.maha-france.fr/analizador-de-gases-met-6-2-analizador-de-gases-diesel.htm>

CarFiles. (n.d.). Hyundai Getz 1.5CRDI BOSCH EDC16C39 - - 1037383173 OBD FGTech. Retrieved from <https://www.carfiles.net/en/hyundai-getz-1.5crdi-bosch-edc16c39-958>

Alarcón Solís, C. P., & Jaramillo Salgado, J. C. (2007, November 01). Guía para el diagnóstico del sistema de inyección CRDi Bosch. Retrieved from <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1126>

SPC consulting Group, P. (n.d.). Diseño de Experimentos - DOE: SPC Consulting Group. Retrieved from <https://spcgroup.com.mx/doe/>

ANEXOS

Presión Diesel 80% de carga a 2000 RPM

La presión de Diesel medido en el vehículo a 80% de carga del motor a 2000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del				
	Coef	coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	94,13	1,65	57,16	0,000	
injection	-1,10	1,01	-1,09	0,325	1,00
rail pressure	3,43	1,01	3,40	0,019	1,00
turbo pressure	0,60	1,01	0,59	0,578	1,00
injection*injection	0,97	1,48	0,65	0,542	1,01
rail pressure*rail pressure	3,17	1,48	2,14	0,086	1,01
turbo pressure*turbo pressure	0,47	1,48	0,32	0,764	1,01
injection*rail pressure	-2,18	1,43	-1,53	0,188	1,00
injection*turbo pressure	0,97	1,43	0,68	0,525	1,00
rail pressure*turbo pressure	0,73	1,43	0,51	0,633	1,00

Tabla 93: Coeficientes codificados Presión Diesel 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

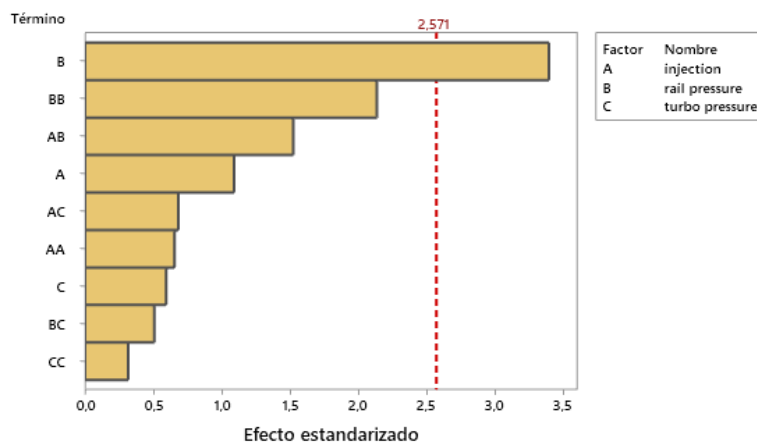


Ilustración 124: Diagrama de Pareto Presión Diesel 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en la presión Diesel es la presión del rail de inyectores, ya que esta tiene un valor p de 0.019, y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre la lumbreira que es de 2.57.

Presión Diesel 100% de carga a 2000 RPM

La presión de Diesel medido en el vehículo a 100% de carga del motor a 2000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef.	Valor T	Valor p
Constante	119,90	4,86	24,69	0,000
injection	2,44	2,97	0,82	0,450
rail pressure	4,54	2,97	1,53	0,188
turbo pressure	-10,68	2,97	-3,59	0,016
injection*injection	8,06	4,38	1,84	0,125
rail pressure*rail pressure	-4,44	4,38	-1,01	0,357
turbo pressure*turbo pressure	-8,36	4,38	-1,91	0,114
injection*rail pressure	-2,43	4,21	-0,58	0,589
injection*turbo pressure	3,95	4,21	0,94	0,391
rail pressure*turbo pressure	-0,25	4,21	-0,06	0,955

Tabla 94: Coeficientes codificados Presión Diesel 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

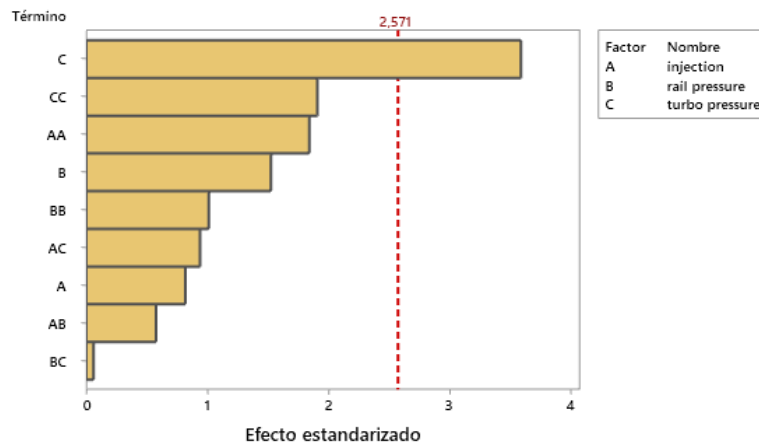


Ilustración 125: Diagrama de Pareto Presión Diesel 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en la presión de Diesel es la presión del turbo, ya que esta tiene un valor p de 0.016, y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre la lumbrera que es de 2.57.

Presión Diesel 80% de carga a 3000 RPM

La presión de Diesel medido en el vehículo a 80% de carga del motor a 3000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del				
	Coef	coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	109,77	3,54	31,05	0,000	
injection	-0,46	2,17	-0,21	0,839	1,00
rail pressure	5,88	2,17	2,71	0,042	1,00
turbo pressure	4,44	2,17	2,05	0,096	1,00
injection*injection	-1,86	3,19	-0,58	0,585	1,01
rail pressure*rail pressure	2,62	3,19	0,82	0,449	1,01
turbo pressure*turbo pressure	-0,36	3,19	-0,11	0,915	1,01
injection*rail pressure	-1,22	3,06	-0,40	0,706	1,00
injection*turbo pressure	-1,25	3,06	-0,41	0,700	1,00
rail pressure*turbo pressure	-0,23	3,06	-0,07	0,944	1,00

Tabla 95: Coeficientes codificados Presión Diesel 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

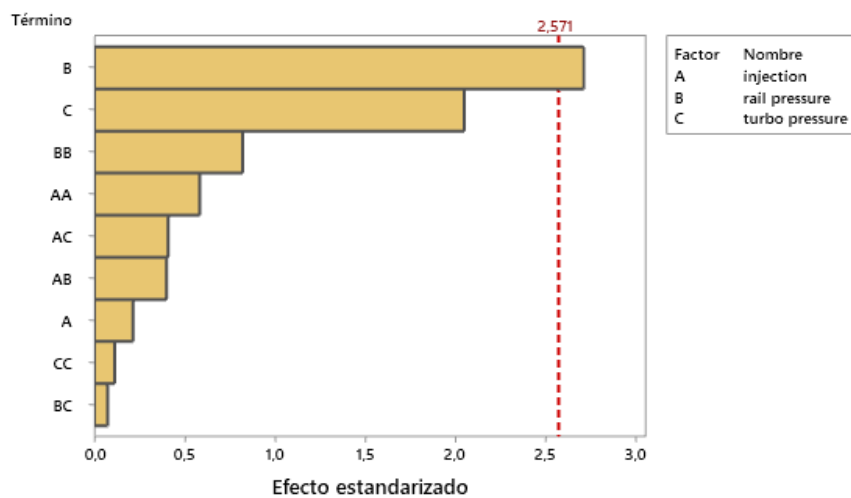


Ilustración 126: Diagrama de Pareto Presión Diesel 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en la opacidad es la presión del rail de inyectores, ya que esta tiene un valor p de 0.042, y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre la lumbrera que es de 2.57.

Presión Diesel 100% de carga a 3000 RPM

La presión de Diesel medido en el vehículo a 100% de carga del motor a 3000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del				FIV
	Coef	coef.	Valor T	Valor p	
Constante	138,57	2,82	49,20	0,000	
injection	-1,11	1,72	-0,65	0,547	1,00
rail pressure	7,49	1,72	4,34	0,007	1,00
turbo pressure	-0,25	1,72	-0,14	0,890	1,00
injection*injection	-0,06	2,54	-0,02	0,983	1,01
rail pressure*rail pressure	1,44	2,54	0,57	0,595	1,01
turbo pressure*turbo pressure	0,22	2,54	0,09	0,935	1,01
injection*rail pressure	-0,25	2,44	-0,10	0,922	1,00
injection*turbo pressure	0,48	2,44	0,19	0,853	1,00
rail pressure*turbo pressure	-0,98	2,44	-0,40	0,706	1,00

Tabla 96: Coeficientes codificados Presión Diesel 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

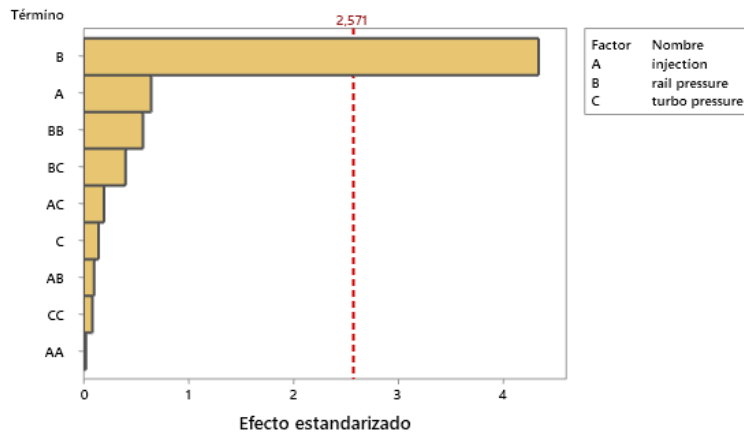


Ilustración 127: Diagrama de Pareto Presión Diesel 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en la presión de Diesel es la presión del rail de inyectores, ya que esta tiene un valor p de 0.007, y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre la lumbrera que es de 2.57.

Presión Turbo 80% de carga a 2000 RPM

La presión de turbo medida en el vehículo a 80% de carga del motor a 2000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef.	Valor T	Valor p FIV
Constante	1148,0	15,9	72,15	0,000
injection	22,38	9,74	2,30	0,070 1,00
rail pressure	1,63	9,74	0,17	0,874 1,00
turbo pressure	-0,00	9,74	-0,00	1,000 1,00
injection*injection	4,1	14,3	0,29	0,785 1,01
rail pressure*rail pressure	17,6	14,3	1,23	0,274 1,01
turbo pressure*turbo pressure	0,4	14,3	0,03	0,980 1,01
injection*rail pressure	-10,2	13,8	-0,74	0,490 1,00
injection*turbo pressure	48,0	13,8	3,48	0,018 1,00
rail pressure*turbo pressure	7,0	13,8	0,51	0,633 1,00

Tabla 97: Coeficientes codificados presión de turbo 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

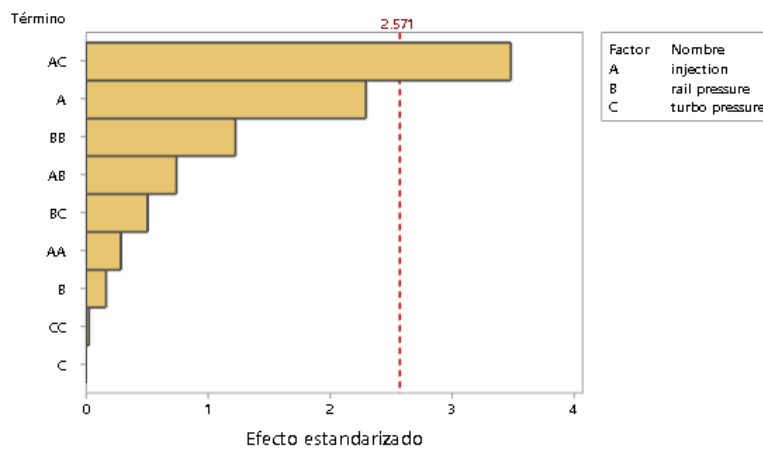


Ilustración 128: Diagrama de Pareto presión de turbo 80% a 2000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en la presión del turbo es la inyección por TPS influenciado por la presión de turbo, ya que esta tiene un valor p de 0.018 y su valor T en el diagrama de Pareto está por sobre la lumbra que es de 2.571.

Presión Turbo 100% de carga a 2000 RPM

La presión de turbo medida en el vehículo a 100% de carga del motor a 2000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef. coef.	Valor T	Valor p FIV
Constante	1473	107	13,78	0,000
injection	149,3	65,4	2,28	0,072 1,00
rail pressure	22,5	65,4	0,34	0,745 1,00
turbo pressure	-264,3	65,4	-4,04	0,010 1,00
injection*injection	267,0	96,3	2,77	0,039 1,01
rail pressure*rail pressure	-158,5	96,3	-1,64	0,161 1,01
turbo pressure*turbo pressure	-168,5	96,3	-1,75	0,141 1,01
injection*rail pressure	-85,7	92,6	-0,93	0,397 1,00
injection*turbo pressure	68,8	92,6	0,74	0,491 1,00
rail pressure*turbo pressure	20,7	92,6	0,22	0,831 1,00

Tabla 98: Coeficientes codificados presión de turbo 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

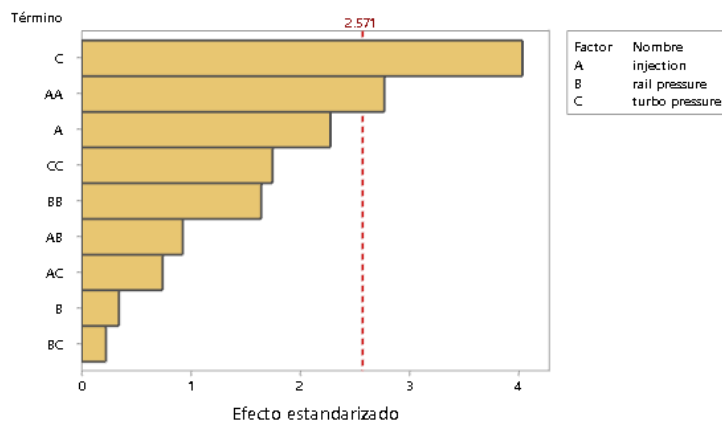


Ilustración 129: Diagrama de Pareto presión de turbo 100% a 2000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en la presión del turbo es la presión de turbo, ya que esta tiene un valor p de 0.010, proseguido por la inyección por TPS influenciado por la

inyección por TPS con un valor de p de 0.039, teniendo ambos sus valores T en el diagrama de Pareto sobre la lumbreira que es de 2.571.

Presión Turbo 80% de carga a 3000 RPM

La presión de turbo medida en el vehículo a 80% de carga del motor a 3000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef. coef.	Valor T	Valor p FIV
Constante	1463,3	44,4	32,96	0,000
injection	-3,4	27,2	-0,12	0,906 1,00
rail pressure	-20,5	27,2	-0,75	0,485 1,00
turbo pressure	106,4	27,2	3,91	0,011 1,00
injection*injection	-4,4	40,0	-0,11	0,916 1,01
rail pressure*rail pressure	-18,2	40,0	-0,45	0,669 1,01
turbo pressure*turbo pressure	43,6	40,0	1,09	0,326 1,01
injection*rail pressure	-27,8	38,5	-0,72	0,503 1,00
injection*turbo pressure	20,5	38,5	0,53	0,617 1,00
rail pressure*turbo pressure	-6,7	38,5	-0,18	0,868 1,00

Tabla 99: Coeficientes codificados presión de turbo 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

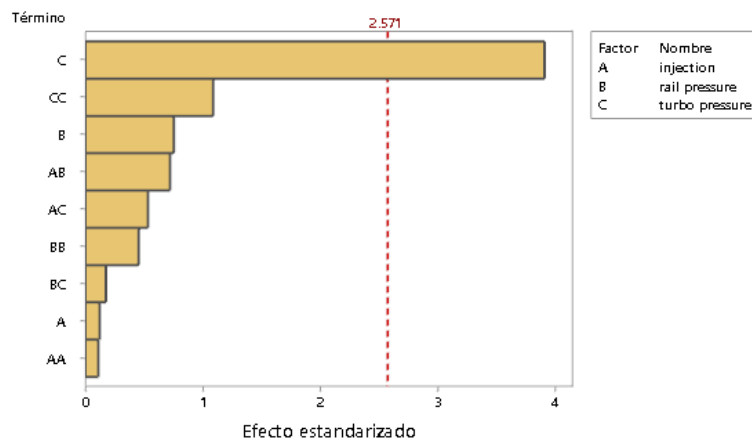


Ilustración 130: Diagrama de Pareto presión de turbo 80% a 3000 RPM

Fuente: Autores

El factor que influye directamente en la presión del turbo es la presión de turbo, ya que esta tiene un valor p de 0.011, teniendo su valor T en el diagrama de Pareto sobre la lumbreira que es de 2.571.

Presión Turbo 100% de carga a 3000 RPM

La presión de turbo medida en el vehículo a 100% de carga del motor a 3000 RPM, tomado de las 15 reprogramaciones anteriormente determinadas, arrojó una superficie de respuesta con los siguientes datos:

Término	EE del			
	Coef	coef.	Valor T	Valor p FIV
Constante	1838,7	13,2	139,42	0,000
injection	5,25	8,08	0,65	0,544 1,00
rail pressure	1,62	8,08	0,20	0,848 1,00
turbo pressure	3,38	8,08	0,42	0,693 1,00
injection*injection	-1,6	11,9	-0,13	0,899 1,01
rail pressure*rail pressure	-15,3	11,9	-1,29	0,254 1,01
turbo pressure*turbo pressure	1,7	11,9	0,14	0,894 1,01
injection*rail pressure	-10,2	11,4	-0,90	0,411 1,00
injection*turbo pressure	-6,8	11,4	-0,59	0,580 1,00
rail pressure*turbo pressure	-0,0	11,4	-0,00	1,000 1,00

Tabla 100: Coeficientes codificados presión de turbo 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

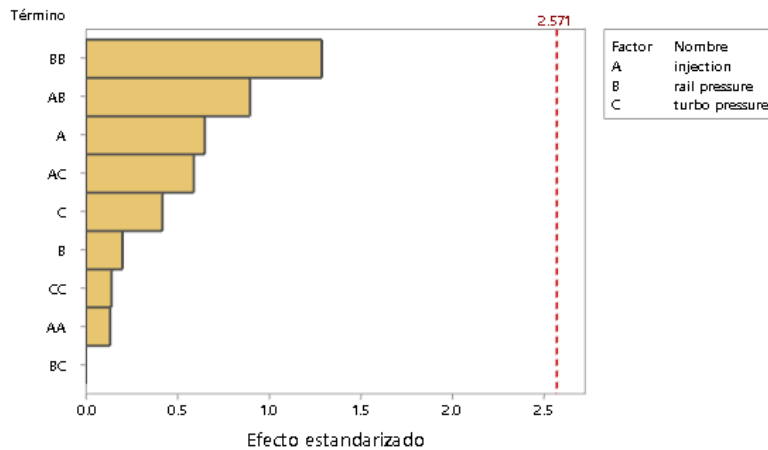


Ilustración 131: Diagrama de Pareto presión de turbo 100% a 3000 RPM

Fuente: Autores

En este parámetro ninguno de los factores influye directamente ya que ninguno tiene un valor p inferior a 0.05, ni su valor T sobrepasa al valor de la lumbreira en el diagrama de Pareto.