



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-L

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTOR: FREDY SALAZAR

TEMA: “INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS CATALIZADORES DE TRES VÍAS A TRAVÉS DEL USO DE UN SISTEMA DE INDUCCIÓN PARA ESTABLECER LA TRANSFORMACIÓN CATALÍTICA Y CONTROL DE EMISIÓN DE GASES”

DIRECTOR: ING. LEONIDAS QUIROZ

LATACUNGA 2018

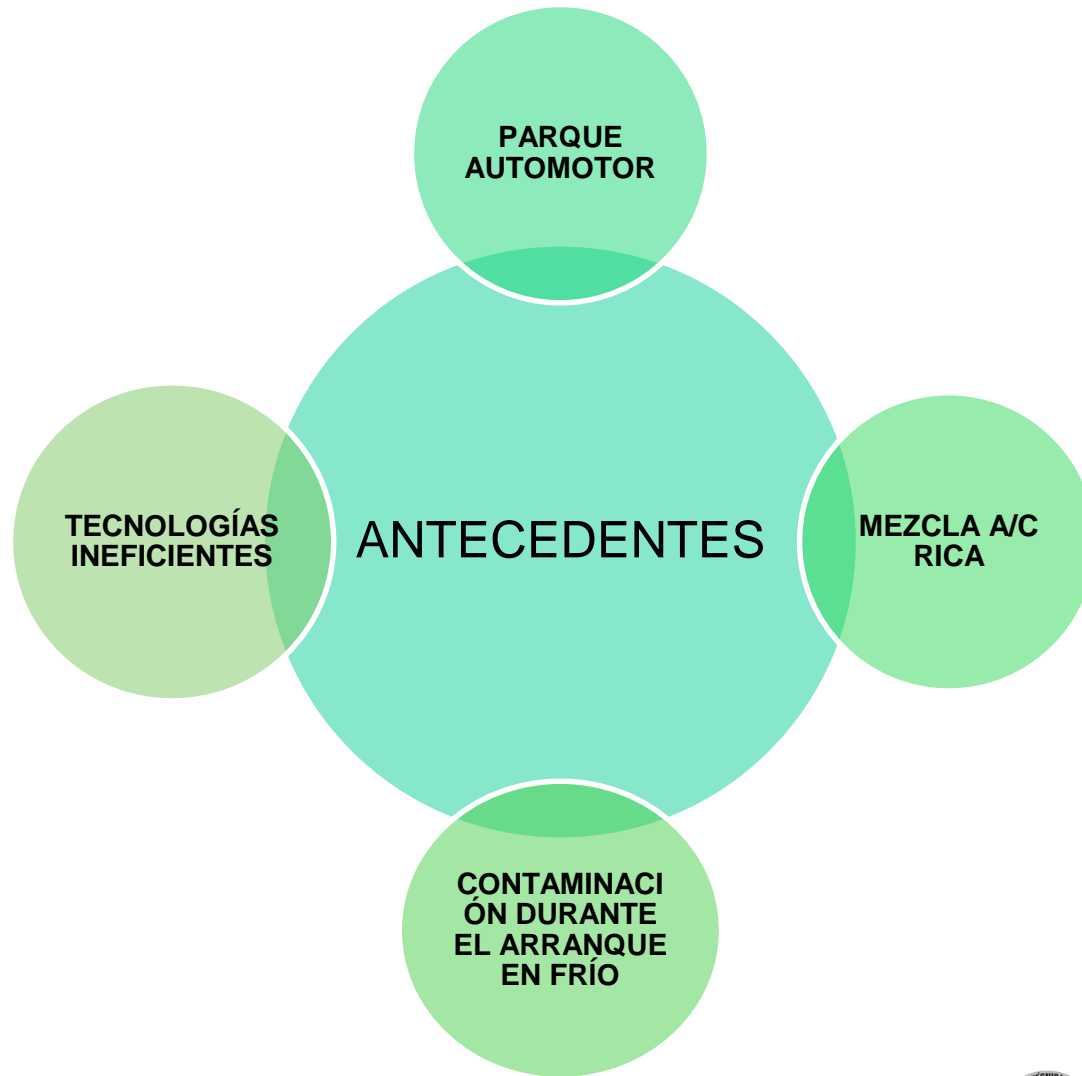


CONTENIDO

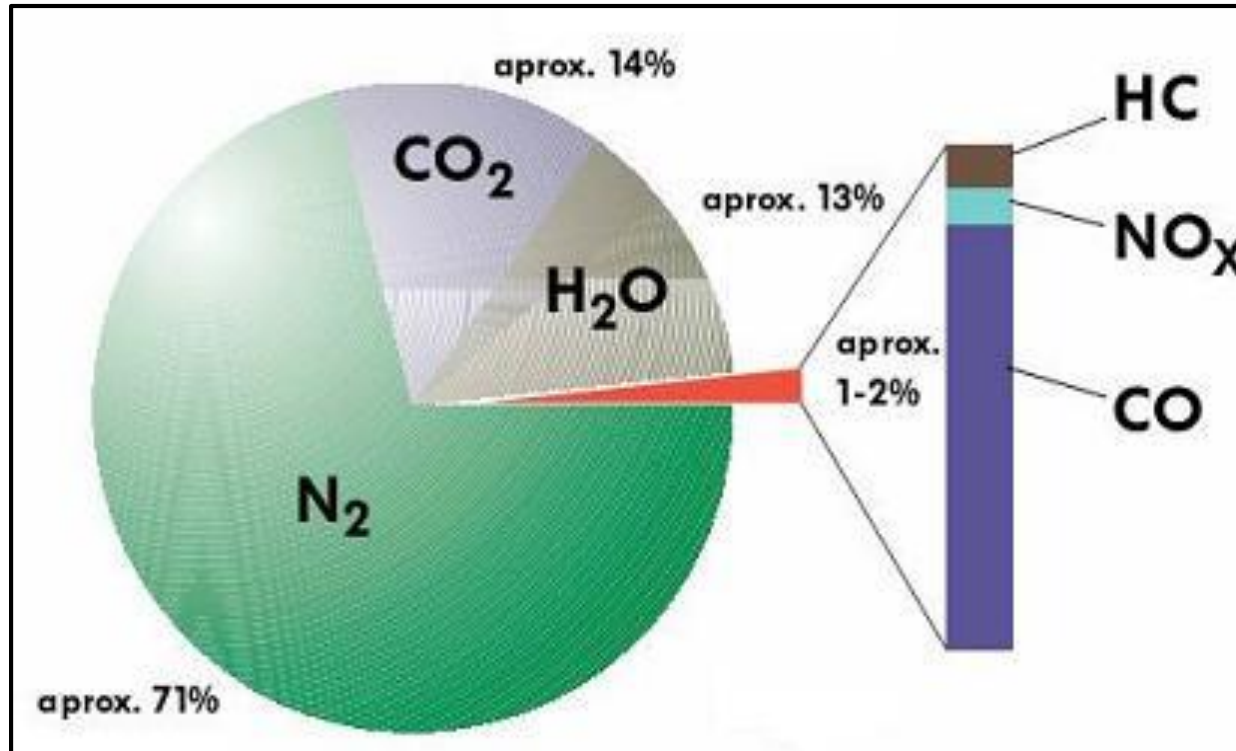
- Antecedentes
- Planteamiento del problema
- Metas
- Objetivos
- Hipótesis
- Introducción
- Diseño
- Implementación
- Metodología de pruebas
- Análisis de resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones



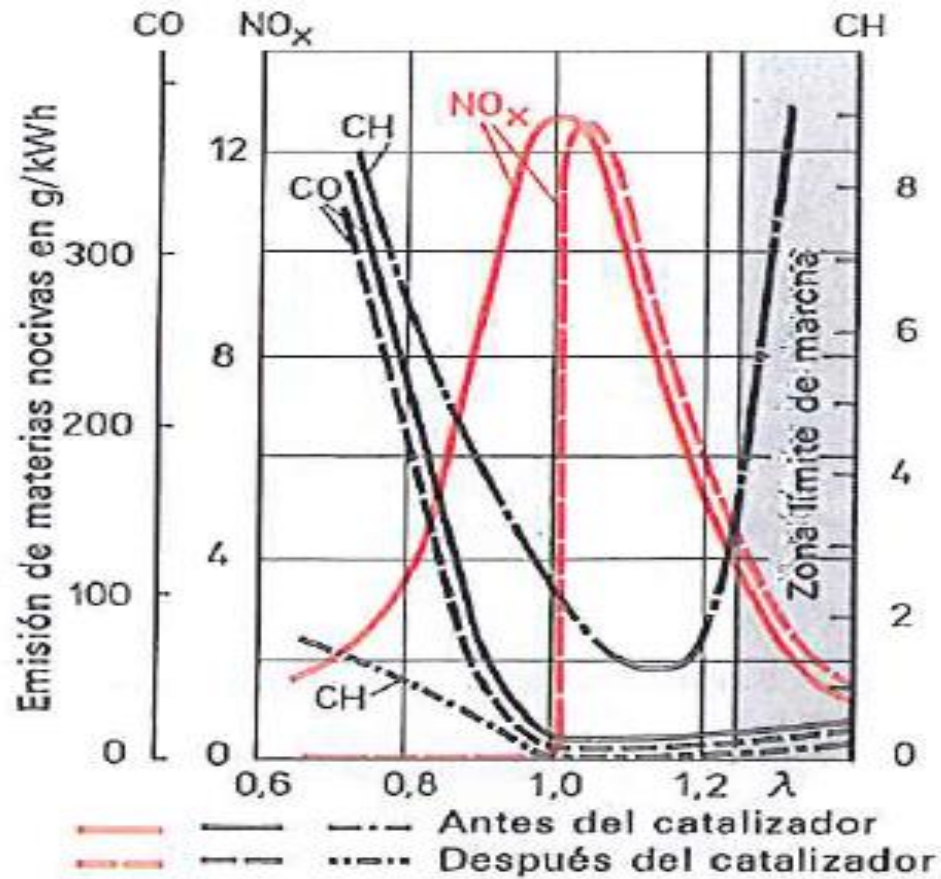
ANTECEDENTES



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

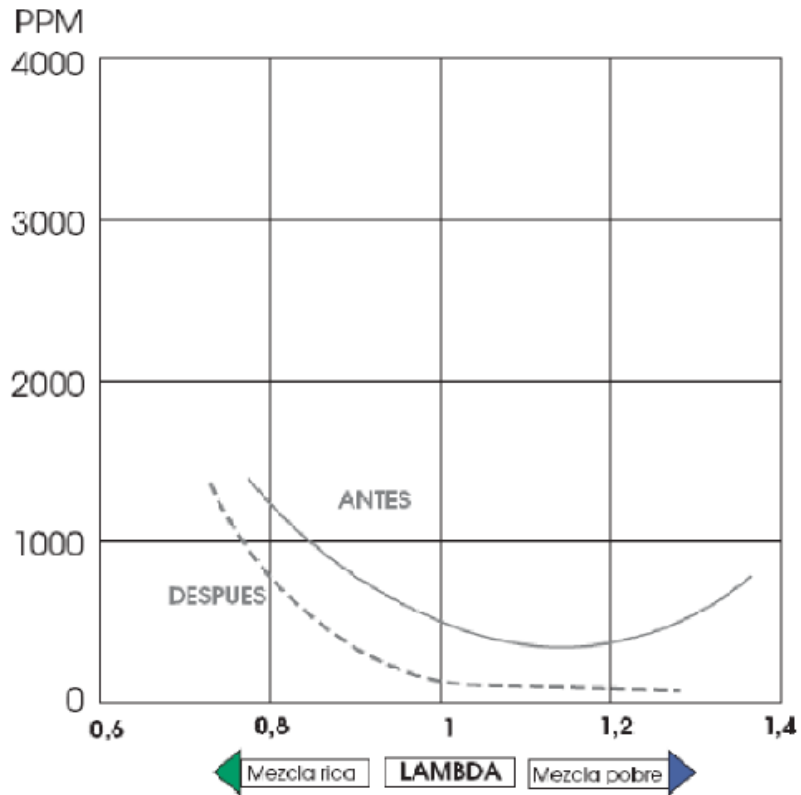


Gases procedentes de la combustión en un motor Otto

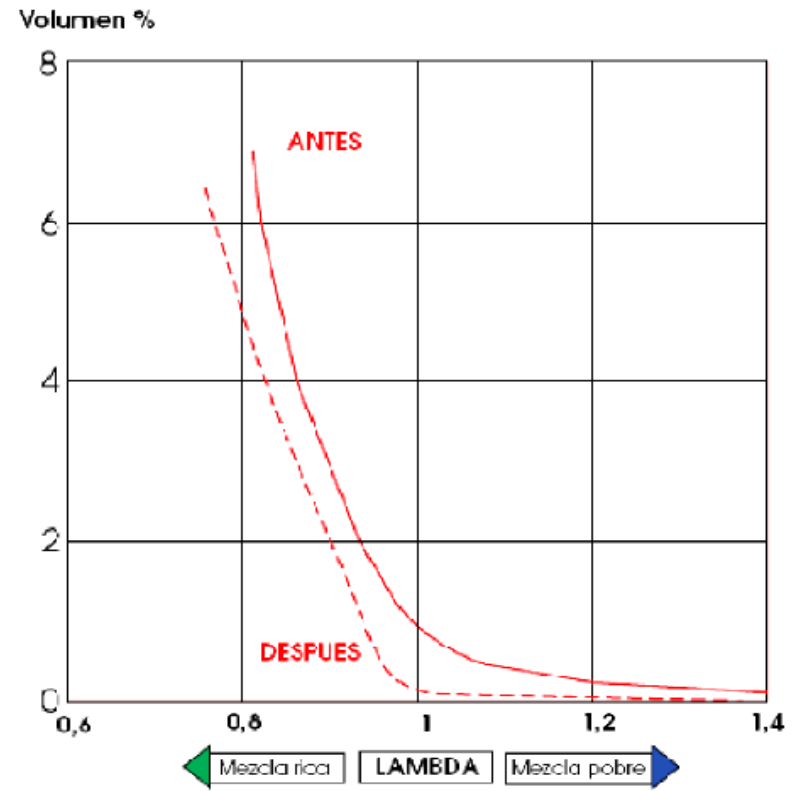


Emisiones antes y después del catalizador

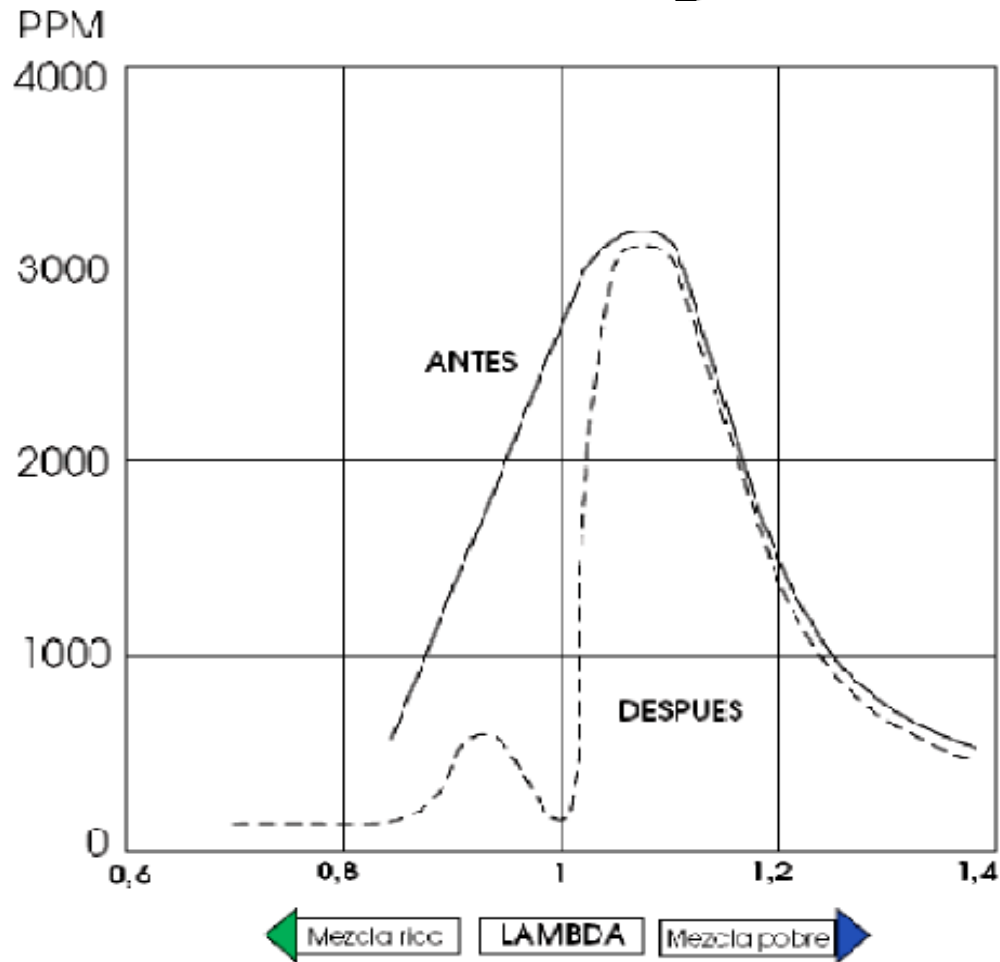
Hidrocarburos



Monóxido de carbono



Óxidos de nitrógeno



METAS

- Diseñar y construir un sistema experimental de inducción para el catalizador evaluando el comportamiento de los parámetros característicos del motor antes y después de la implementación del sistema en el vehículo.
- Reducir la emisión de gases contaminantes como los hidrocarburos en 19%, el monóxido de carbono en 17% y los óxidos de nitrógeno en 19% durante el trabajo en frío del vehículo.



OBJETIVOS

Objetivo General

Investigar el desempeño de los catalizadores de tres vías a través del uso de un sistema de inducción para establecer la transformación catalítica y control de emisión de gases.



Objetivos Específicos

- Recopilar información teórica y técnica inherente a sistemas de control de emisiones y equipo a utilizar para el desarrollo del proyecto de investigación.
- Efectuar la puesta a punto del motor y los sistemas automotrices del vehículo de prueba y acondicionar el monitor-scanner OBDLink SX para la medición de consumo de combustible.



- Recolectar datos confiables mediante análisis de emisión de gases contaminantes en prueba estática con el catalizador genuino durante el arranque en frío.
- Diseñar y construir un sistema experimental de inducción para el catalizador y realizar pruebas de emisión de gases, potencia, torque y consumo de combustible antes y después de la implementación del sistema de inducción con un sistema de monitoreo y control de temperatura del convertidor catalítico.



- Analizar el proceso catalítico del vehículo CHEVROLET AVEO ACTIVO 1,6L con datos de análisis de emisión de gases contaminantes en pruebas estáticas.
- Analizar los resultados obtenidos de la investigación antes y después de haber acondicionado el sistema experimental de tal forma validar su uso con una optimización del tratamiento de gases de escape en catalizadores.



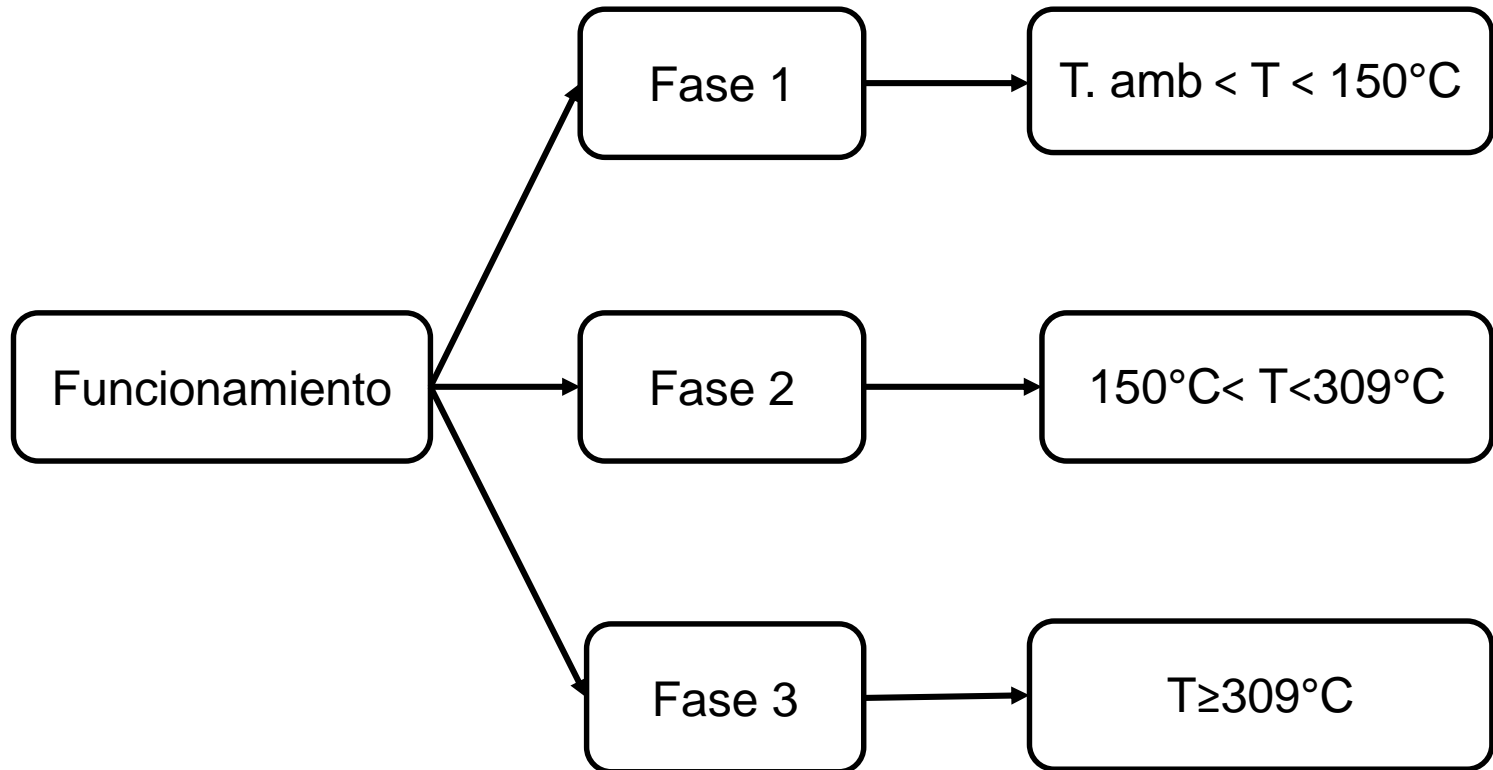
HIPÓTESIS

- El sistema de inducción permite que el catalizador del vehículo Chevrolet AVEO ACTIVO 1,6L trabaje a temperatura normal de funcionamiento durante el arranque en frío optimizando su proceso catalítico en la transformación de gases nocivos en gases inocuos.

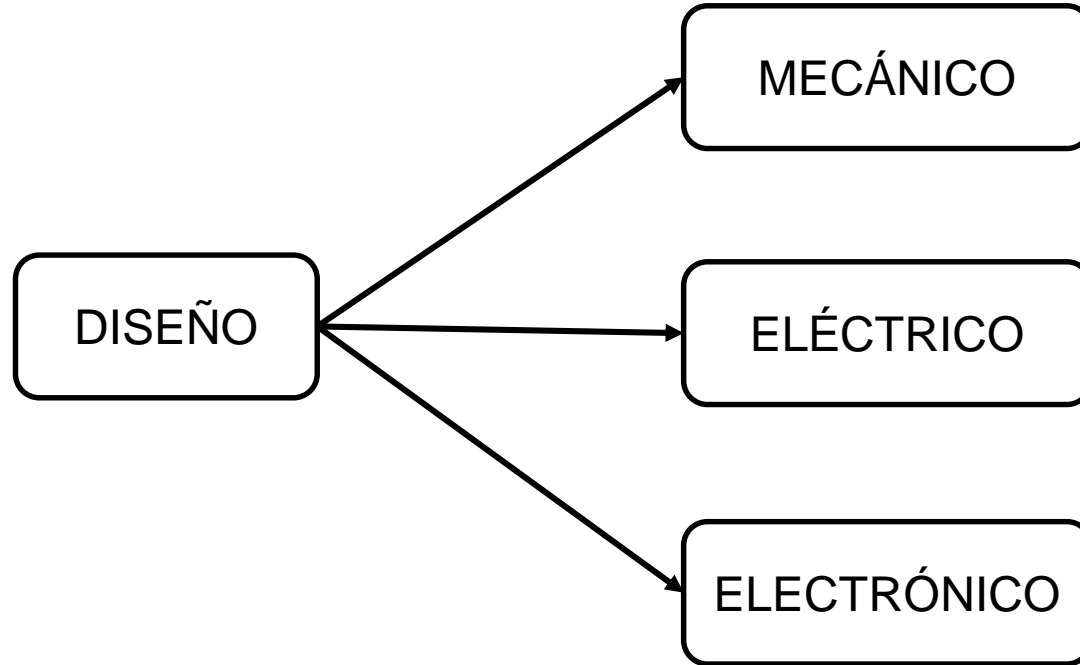


INTRODUCCIÓN

- **Sistema de inducción para catalizador**

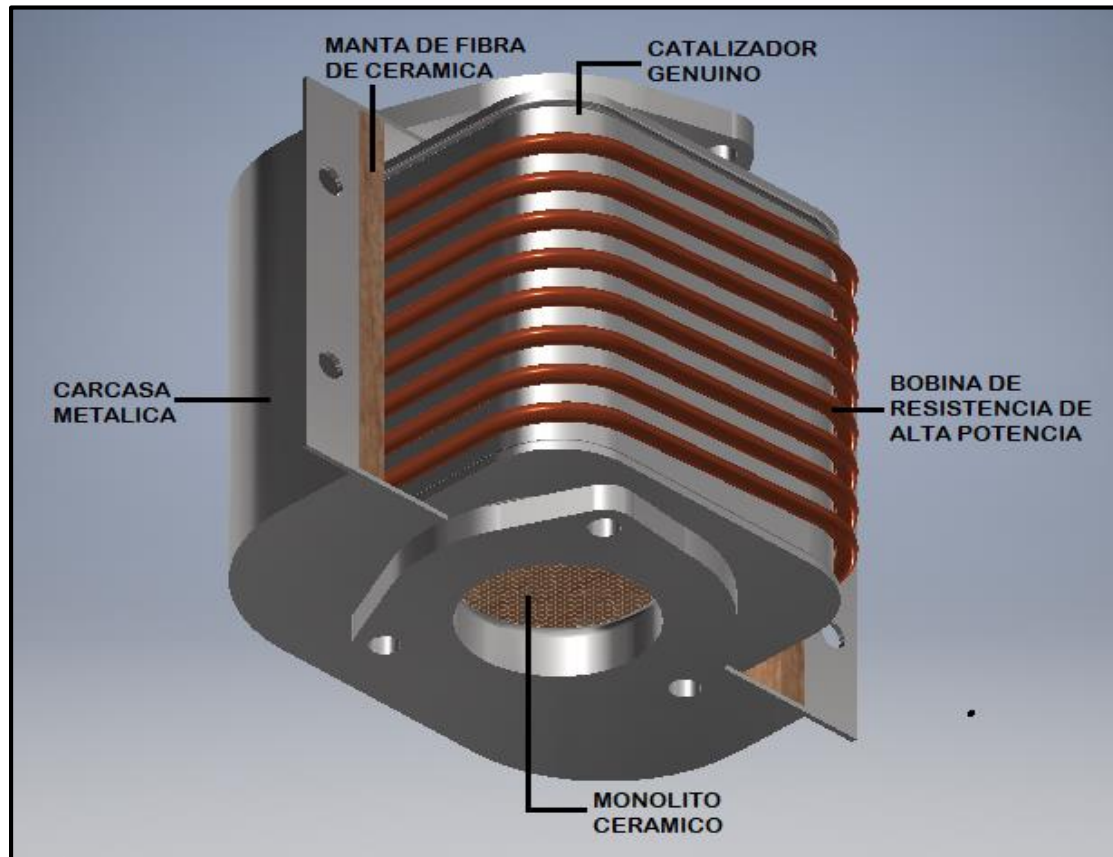


DISEÑO



DISEÑO MECÁNICO

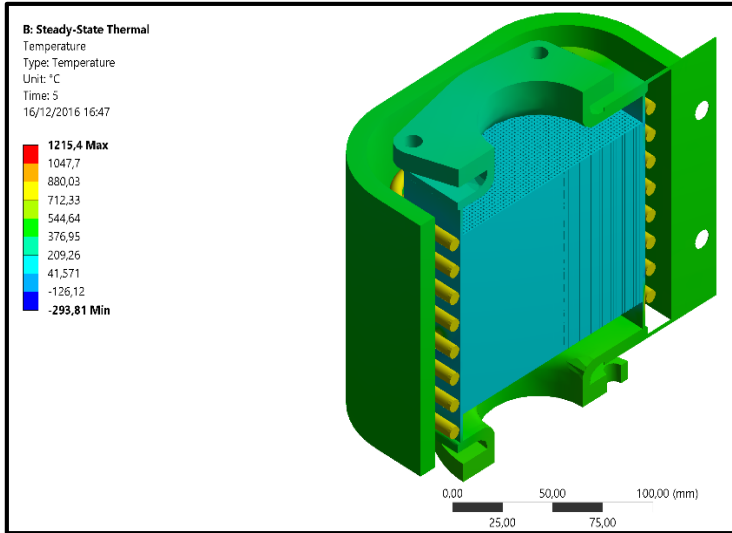
- Modelado CAD



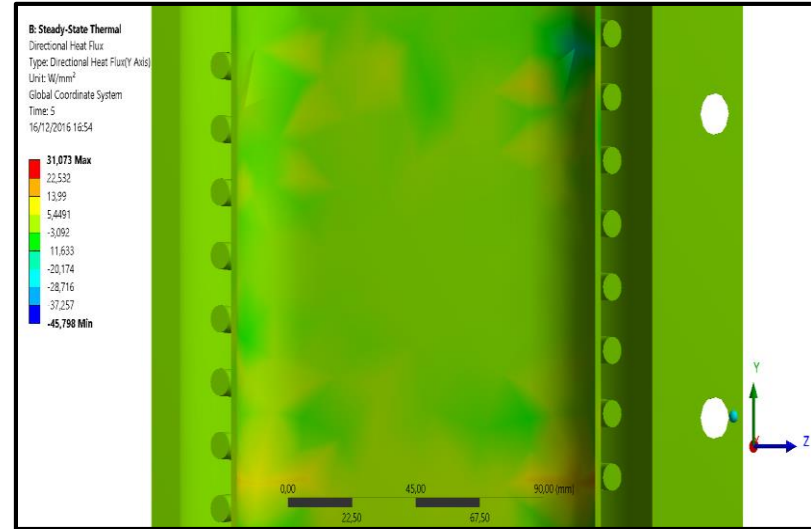
DISEÑO MECÁNICO

Estudio estático térmico

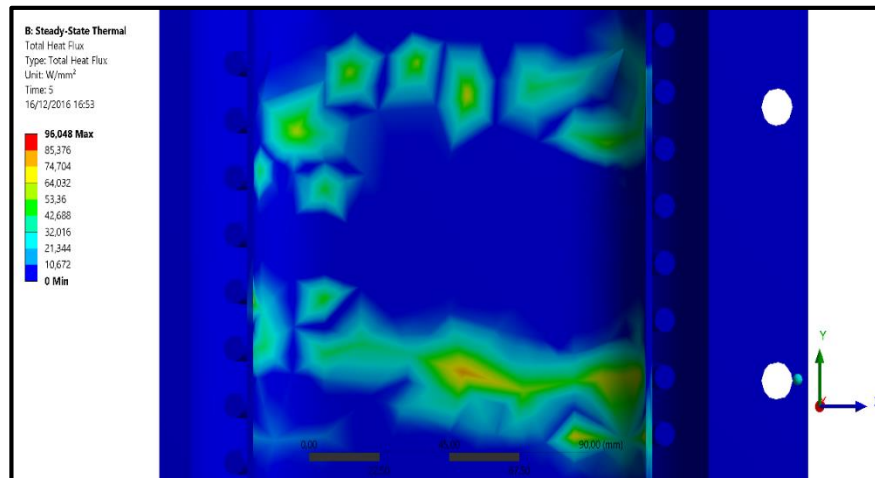
Concentración de temperatura



Flujo de calor



Flujo de calor total



DISEÑO MECÁNICO

- Materiales

Componente	Material	Propiedades	Valor
Catalizador genuino y carcasa metálica	Acero inoxidable	Módulo de Young (GPa)	190,29
		Modulo cortante (GPa)	85,98
		Límite de elasticidad (GPa)	0,228
Bobina de resistencia de alta potencia	Aleación de cromo-níquel	Aleación	80% Ni, 20% Cr
		Resistividad eléctrica ($\Omega \cdot m$)	100E-08
		Resistencia eléctrica (Ω/m)	0,5250
Monolito cerámico y aislante térmico	Nitrato de silicio	Módulo de Young (GPa)	420,20
		Modulo cortante (GPa)	119,96
		Límite de elasticidad (GPa)	0,6099



DISEÑO MECÁNICO

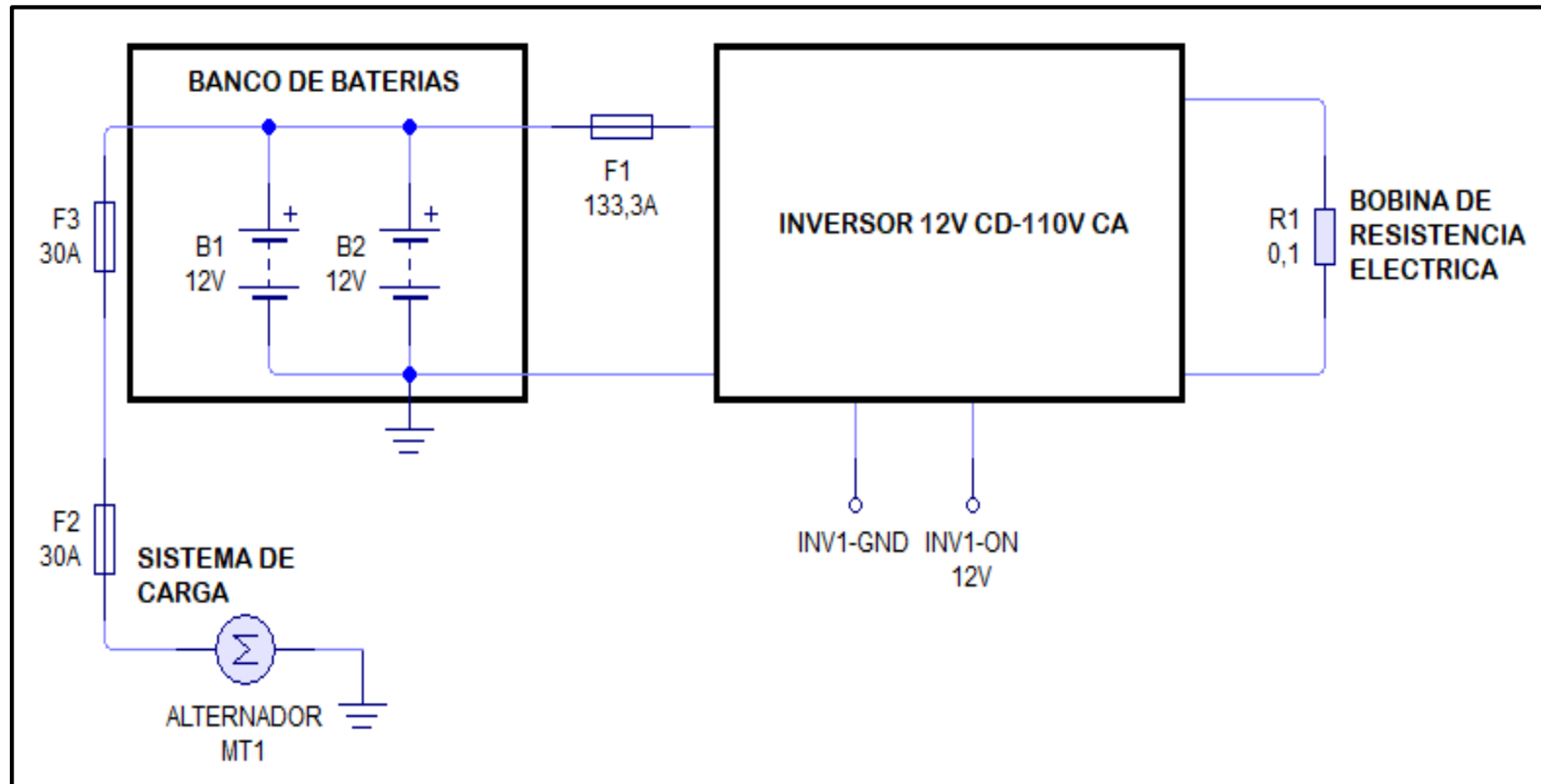
- Cálculos para la bobina

Valores obtenidos				Ecuaciones
Diámetro	$6.543 \times 10^{-3} \text{ m}$	Numero π	3,141592653	$A = \pi * \frac{d^2}{4}$
Área de la resistencia (A)= $3,38 \times 10^{-5} \text{ m}^2$				
Longitud	3,6 m	Resistividad	$100 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$	$R = \rho * \frac{L}{A}$
Resistencia equivalente de la bobina (R)= $0,1 \Omega$				
Valores Obtenidos				Ecuaciones
Voltaje nominal de la batería	12	Resistencia	$0,1 \Omega$	$I = \frac{V}{R}$
Intensidad de consumo de la bobina (I)= 120 A				
Resistencia	$0,1 \Omega$	Intensidad	120 A	$P = I^2 * R$
Potencia de la bobina (P)= 1440 W				
Tiempo promedio de funcionamiento			400 s	$W = P * t$
Trabajo de la bobina (W)= 576000 Joule				
Intensidad	27,29 A	Resistencia	$4,03 \Omega$	$Q = 0.24 * I^2 * R * t$
Cantidad de energía que disipada la bobina (Q)= $138,24 \text{ Kcal}$				



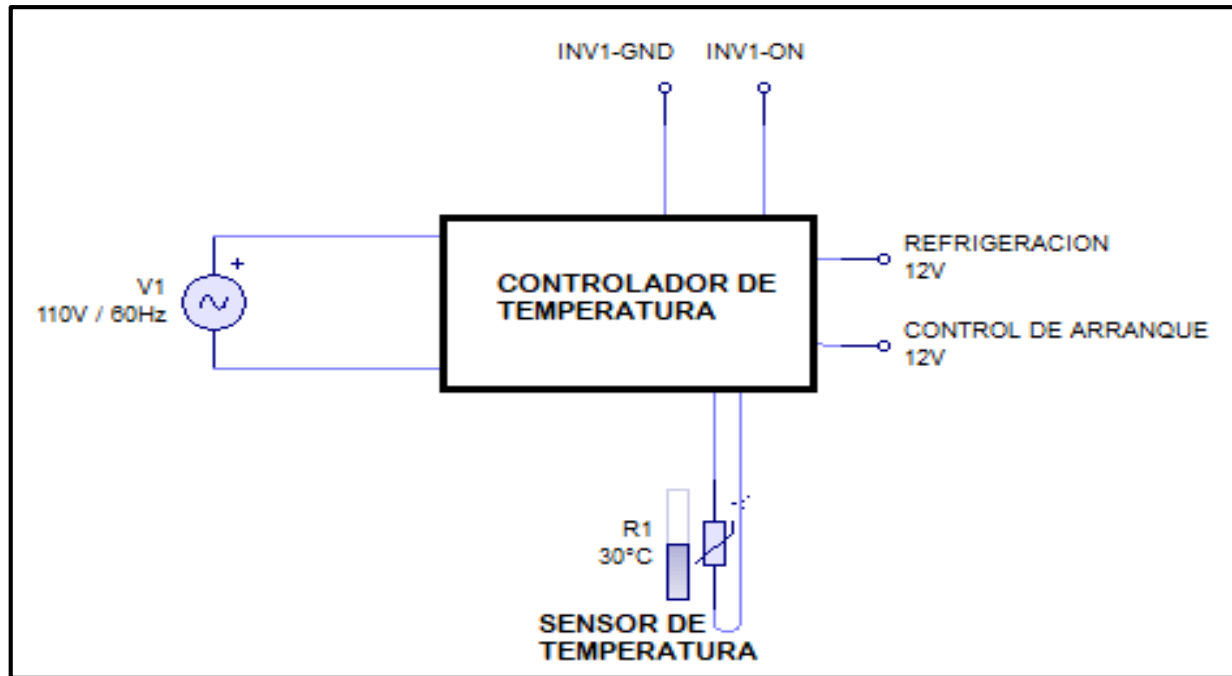
DISEÑO ELÉCTRICO

- Circuito de potencia



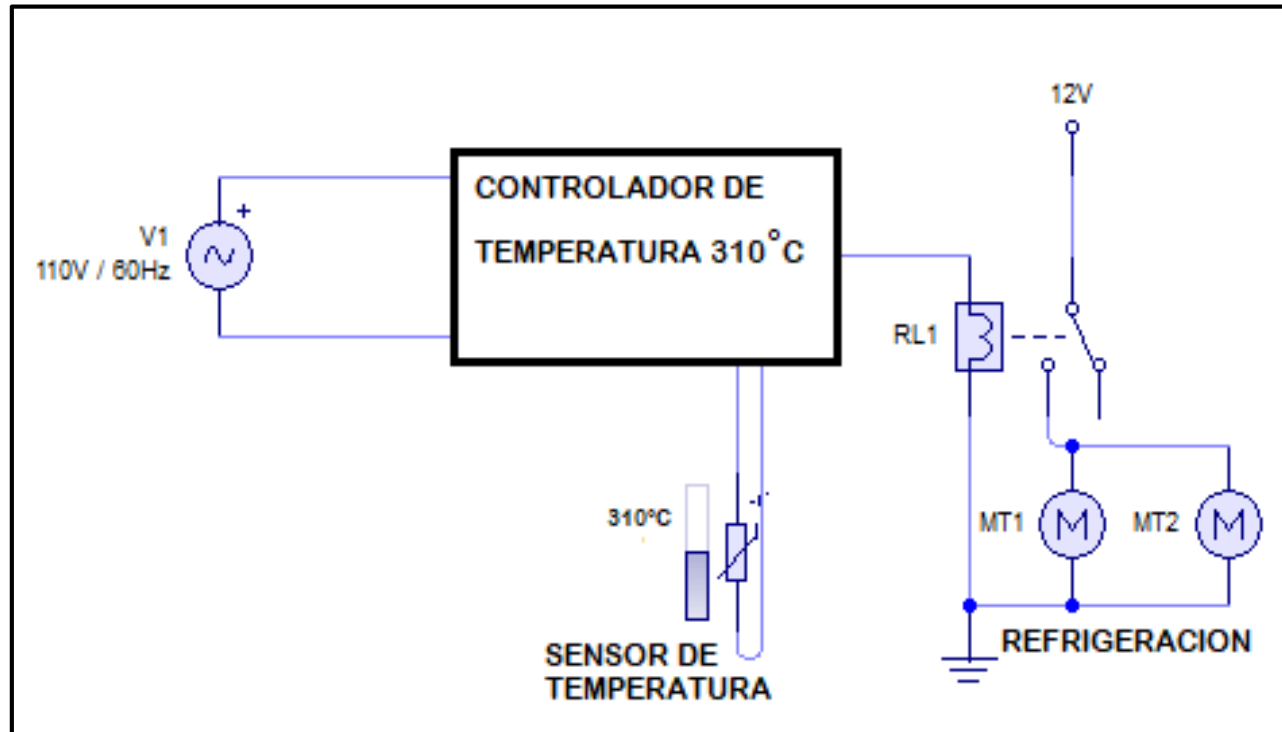
DISEÑO ELÉCTRICO

- Circuito de monitoreo del sistema



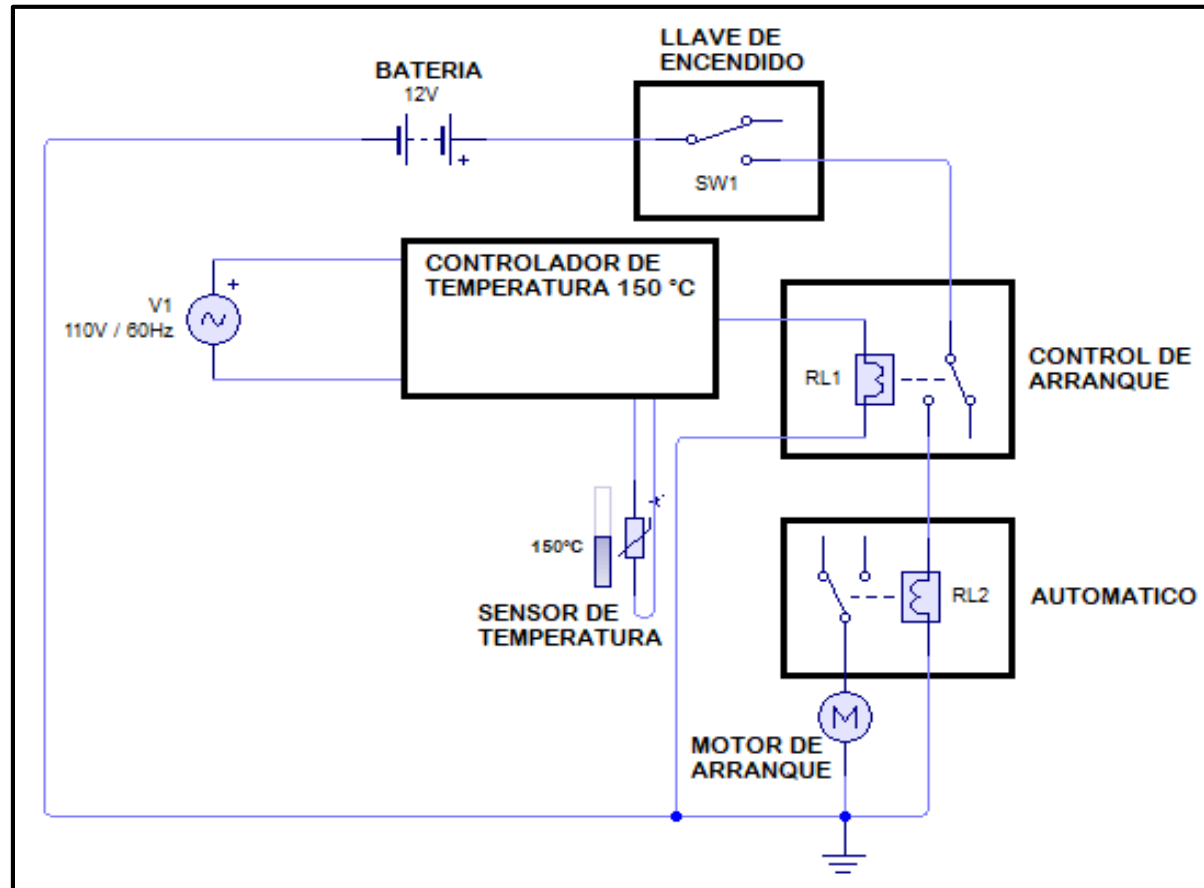
DISEÑO ELÉCTRICO

- Circuito de refrigeración



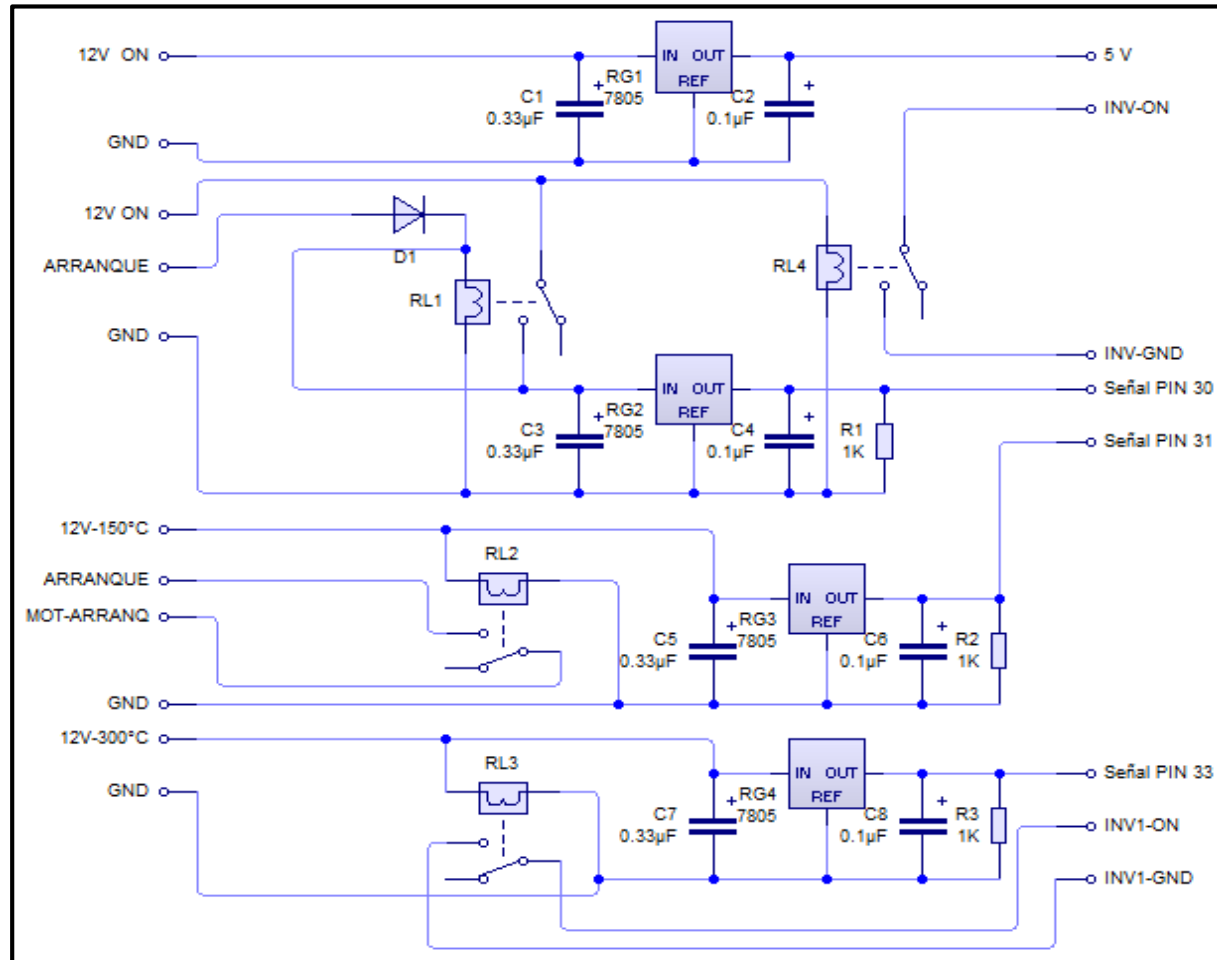
DISEÑO ELÉCTRICO

- Control de arranque



DISEÑO ELECTRÓNICO

- Circuito de control y monitorización del sistema



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

- **Componentes**

Batería

Inversor de
potencia

Controlador
electrónico de
temperatura

Termocupla
tipo k

Módulo de
control y
monitorización

Placa Arduino
e interfaz
gráfica



METODOLOGÍA DE PRUEBAS

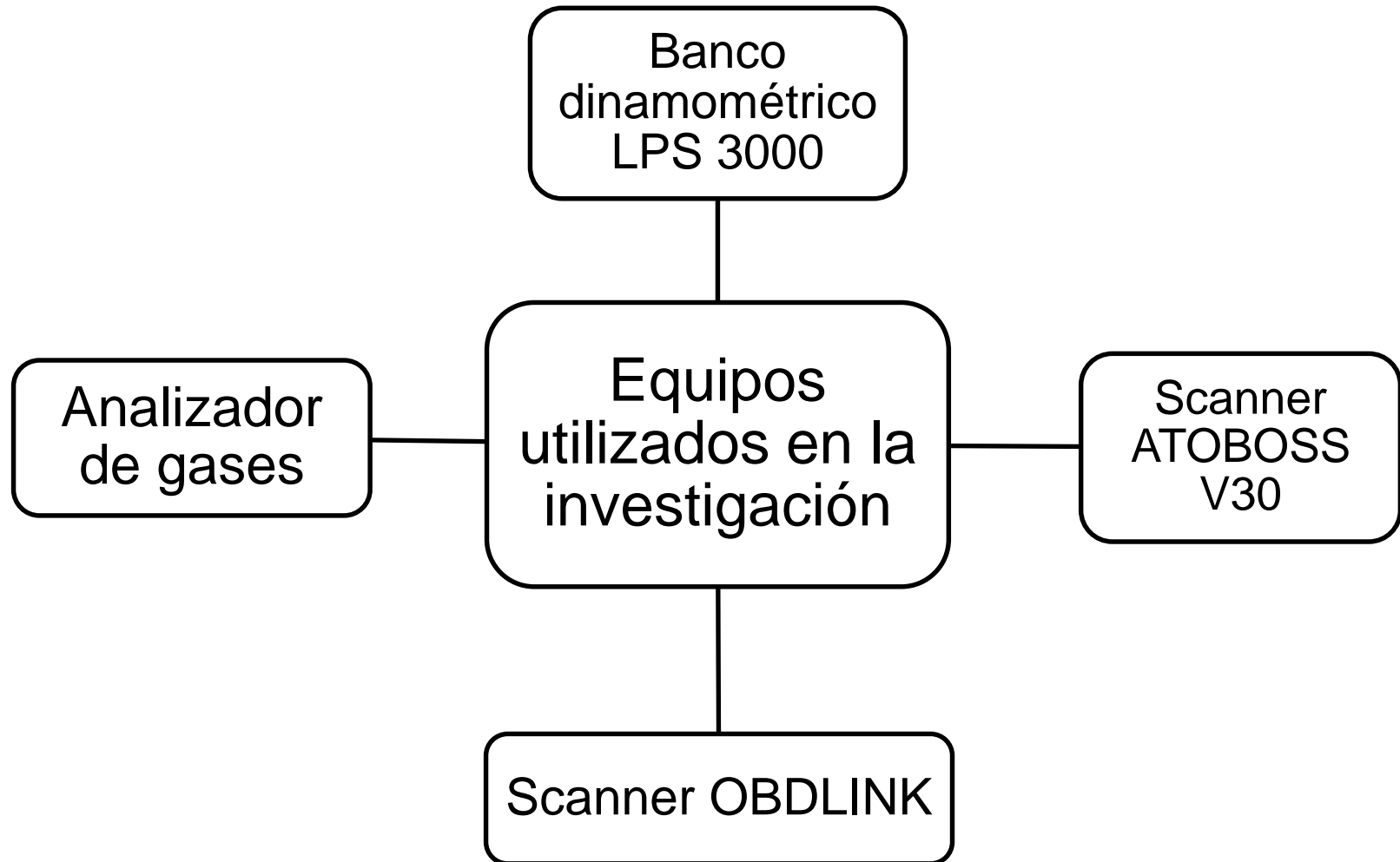
La metodología de pruebas para la investigación se desarrolló mediante la evaluación del convertidor catalítico con el catalizador estándar y la implementación del sistema:

Para la ejecución de las pruebas se considero:

- Tres mediciones por cada variable de investigación
- Afinación del vehículo
- Calibración y puesta a punto de los equipos de medición



EQUIPOS UTILIZADOS



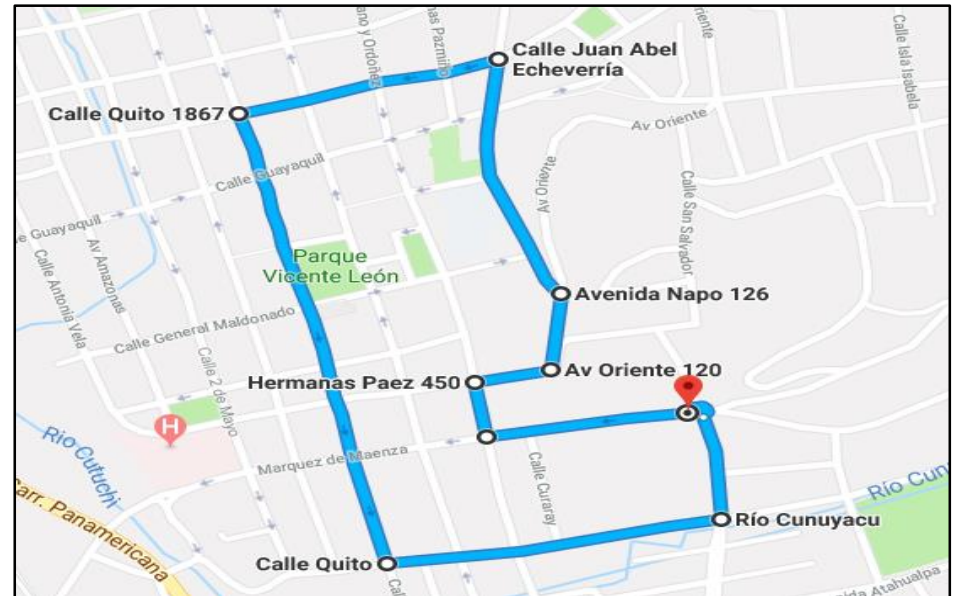
EJECUCIÓN DE PRUEBAS

- Emisiones de gases residuales
 - Ralentí y velocidad crucero
 - Medición continua

- Torque y potencia

- Consumo de combustible
 - Tráfico ligero
 - Tráfico moderado
 - Alto tráfico

- Gestión electrónica



PROCESAMIENTO DE DATOS

Los datos se procesaron utilizando la siguiente medida de dispersión central

PROCEDIMIENTO	ECUACIÓN	OBSERVACIÓN
Promedio	$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n}$	Sirven para determinar la localización o tendencia central de las observaciones

Con los datos obtenidos en el proceso de experimentación se analizaron mediante la comparación de los resultados con la implementación del sistema de inducción en relación al catalizador estándar.



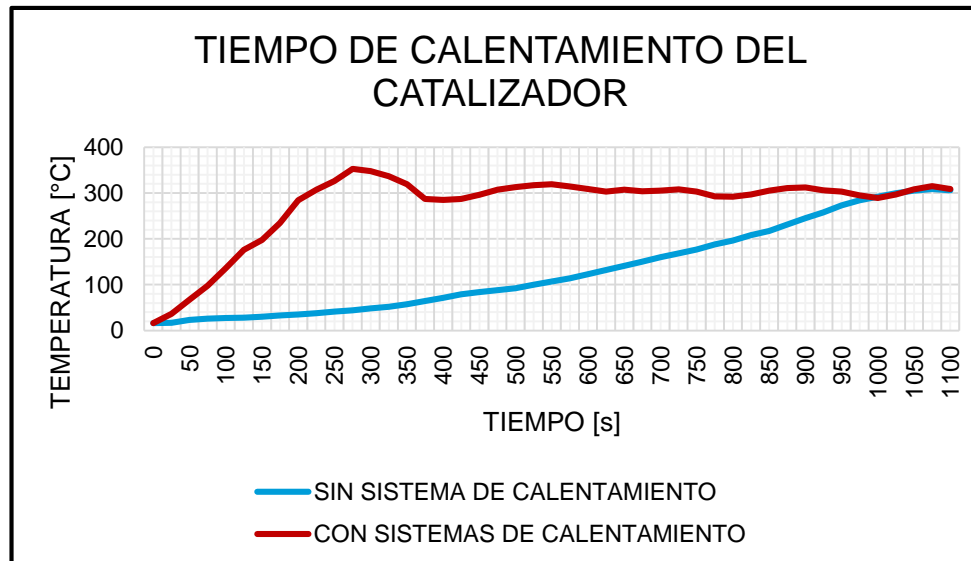
PRUEBAS DE LA INVESTIGACIÓN



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

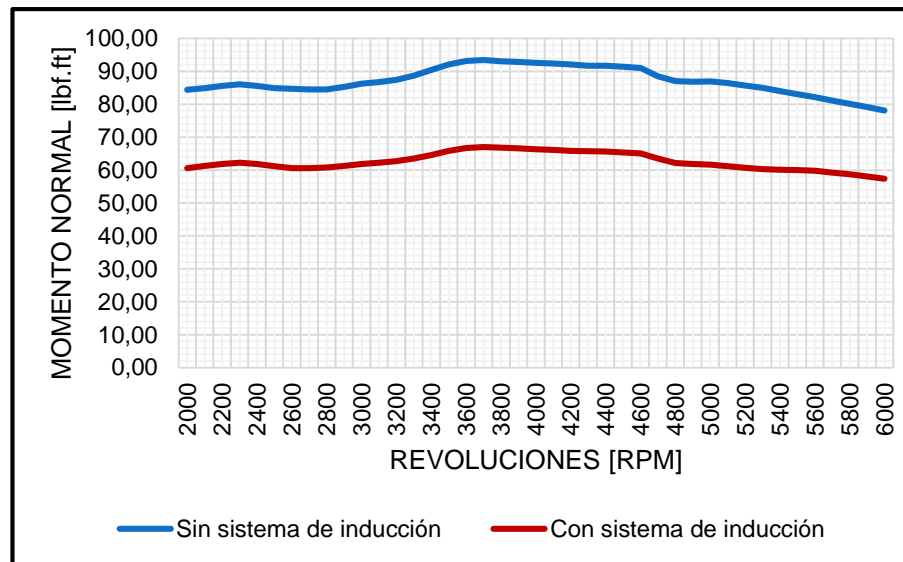
TIEMPO DE CALENTAMIENTO DEL CATALIZADOR

CALENTAMIENTO DE CATALIZADOR		
CONVERTIDOR CATALÍTICO	TIEMPO [s]	TEMPERATURA [°C]
Sin sistema de inducción	1050	309
Con sistemas de inducción	225	309
Variación	825	--
Porcentaje de efectividad de calentamiento en relación al funcionamiento sin sistema (%)	78,57	--



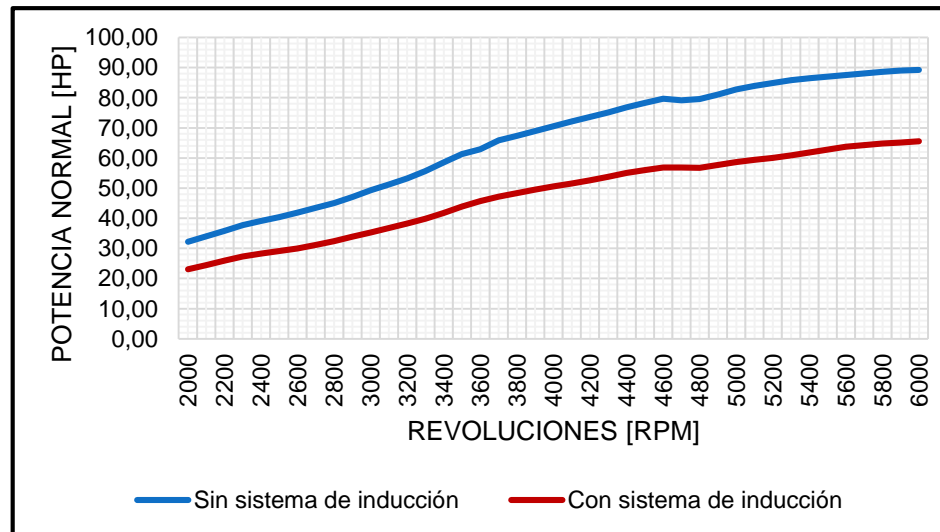
TORQUE

MOMENTO NORMAL [lbf.ft]		
Revoluciones (RPM)	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
2000	84,40	60,63
2500	84,87	61,17
3000	86,27	61,87
3500	92,07	65,83
4000	92,57	66,33
4500	91,40	65,33
5000	86,90	61,63
5500	83,03	59,97
6000	78,10	57,37



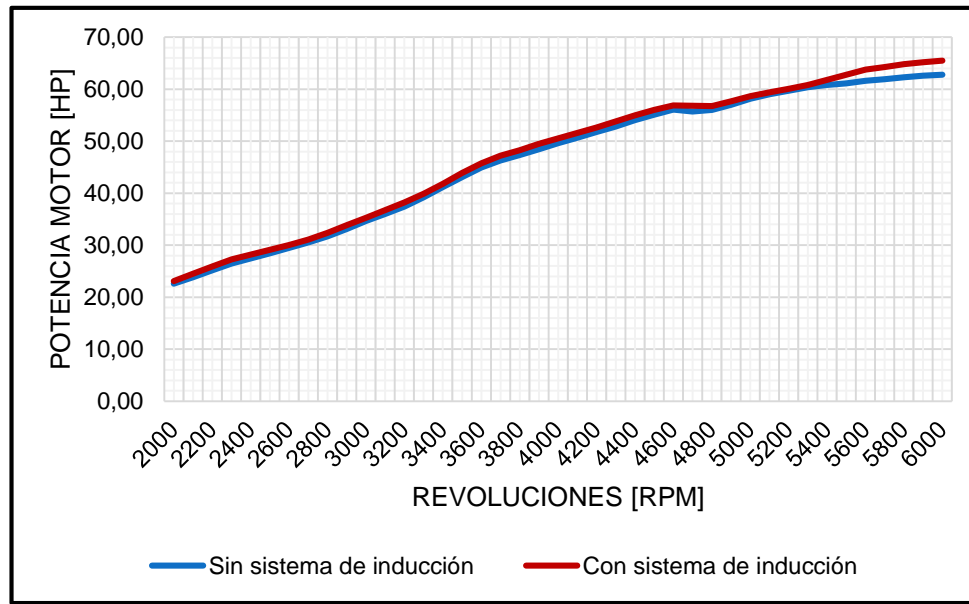
POTENCIA NORMAL

POTENCIA NORMAL [HP]		
Revoluciones (RPM)	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
2000	32,17	23,10
2500	40,40	29,13
3000	49,27	35,30
3500	61,33	43,90
4000	70,50	50,53
4500	78,33	56,00
5000	82,73	58,67
5500	86,97	62,80
6000	89,27	65,53



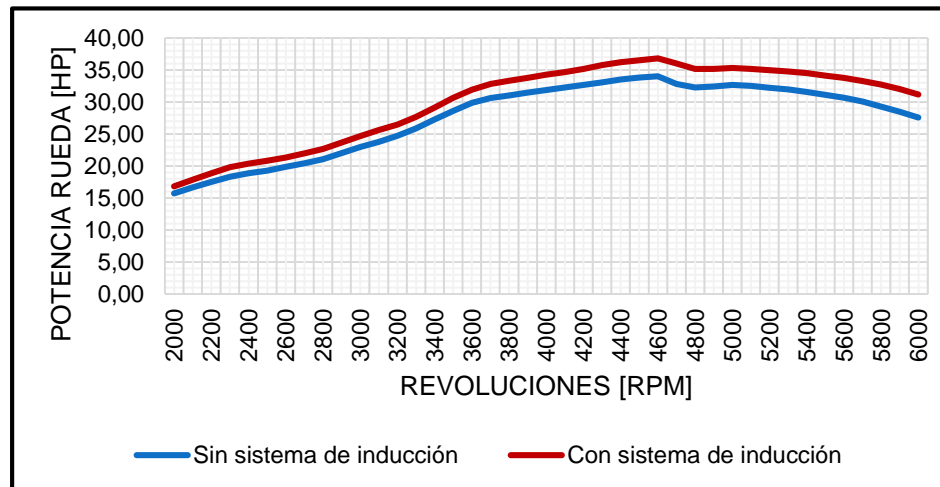
POTENCIA MOTOR

POTENCIA MOTOR [HP]		
Revoluciones (RPM)	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
2000	22,60	23,10
2500	28,43	29,13
3000	34,70	35,30
3500	43,13	43,90
4000	49,60	50,53
4500	55,10	56,00
5000	58,20	58,67
5500	61,13	62,80
6000	62,80	65,53



POTENCIA RUEDA

POTENCIA RUEDA [HP]		
Revoluciones (RPM)	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
2000	15,70	16,80
2500	19,27	20,80
3000	22,93	24,63
3500	28,60	30,63
4000	31,83	34,23
4500	33,80	36,50
5000	32,63	35,30
5500	31,10	34,10
6000	27,53	31,17



EMISIONES EN RALENTÍ Y VELOCIDAD CRUCERO

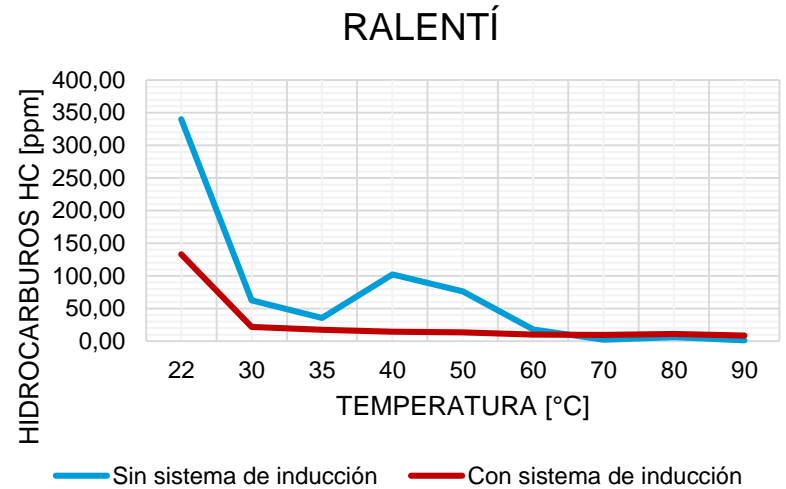


HIDROCARBUROS

HIDROCARBUROS HC [ppm]

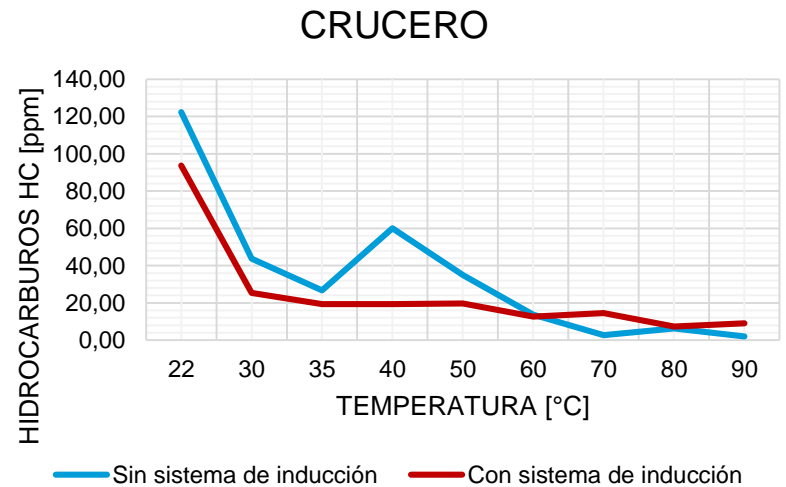
RALENTÍ

Temperatura [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
22,00	340,33	133,33
30,00	62,67	21,67
35,00	35,33	17,33
40,00	102,00	14,33
50,00	76,33	13,33
60,00	18,00	10,00
70,00	2,00	9,33
80,00	6,00	11,00
90,00	1,33	8,50



CRUCERO

22,00	122,33	93,67
30,00	43,67	25,33
35,00	26,67	19,33
40,00	60,00	19,33
50,00	35,00	19,67
60,00	13,67	12,67
70,00	2,67	14,50
80,00	6,33	7,33
90,00	2,00	9,00

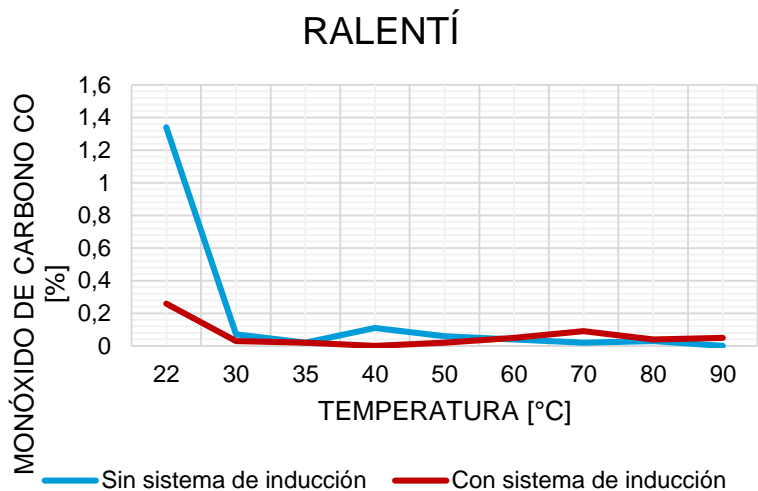


MONÓXIDO DE CARBONO

MONOXIDO DE CARBONO CO [%]

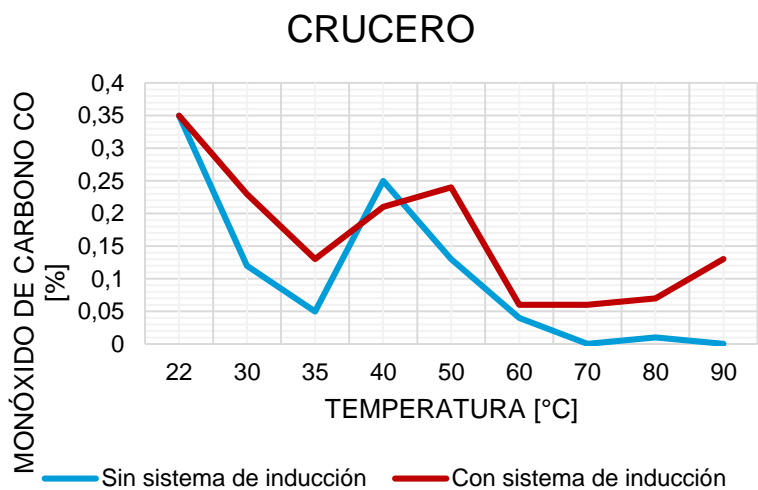
RALENTÍ

Temperatura [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
22,00	1,34	0,26
30,00	0,07	0,03
35,00	0,02	0,02
40,00	0,11	0,00
50,00	0,06	0,02
60,00	0,04	0,05
70,00	0,02	0,09
80,00	0,03	0,04
90,00	0,00	0,05



CRUCERO

22,00	0,35	0,35
30,00	0,12	0,23
35,00	0,05	0,13
40,00	0,25	0,21
50,00	0,13	0,24
60,00	0,04	0,06
70,00	0,00	0,06
80,00	0,01	0,07
90,00	0,00	0,13



DIÓXIDO DE CARBONO

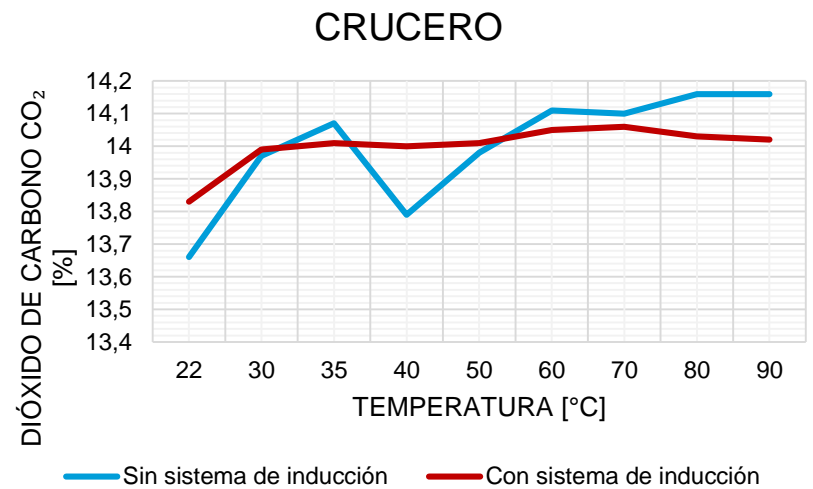
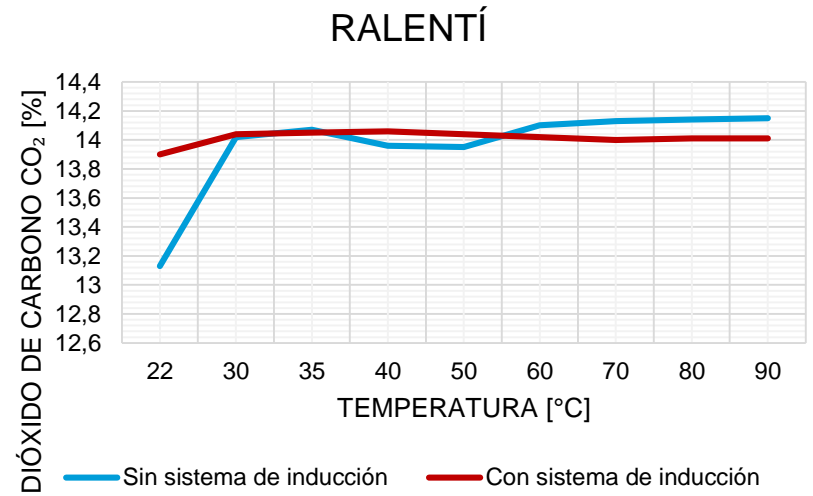
DIÓXIDO DE CARBONO CO₂ [%]

RALENTÍ

Temperatura [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
22,00	13,13	13,90
30,00	14,02	14,04
35,00	14,07	14,05
40,00	13,96	14,06
50,00	13,95	14,04
60,00	14,10	14,02
70,00	14,13	14,00
80,00	14,14	14,01
90,00	14,15	14,01

CRUCERO

22,00	13,66	13,83
30,00	13,97	13,99
35,00	14,07	14,01
40,00	13,79	14
50,00	13,98	14,01
60,00	14,11	14,05
70,00	14,10	14,06
80,00	14,16	14,03
90,00	14,16	14,02

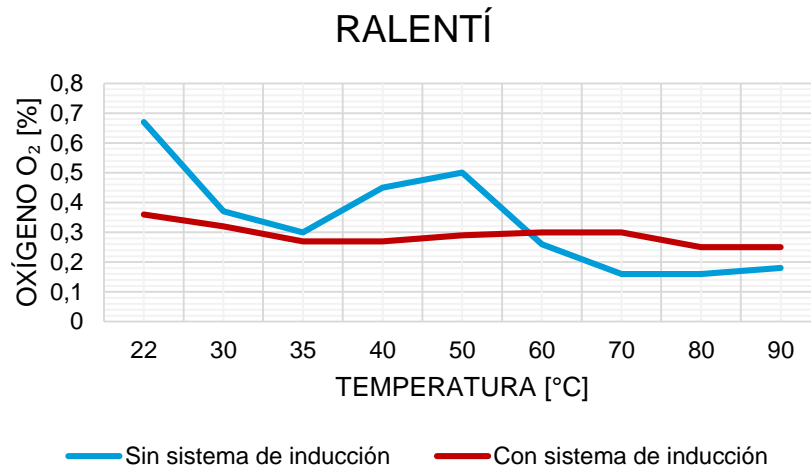


OXÍGENO

OXÍGENO O₂ [%]

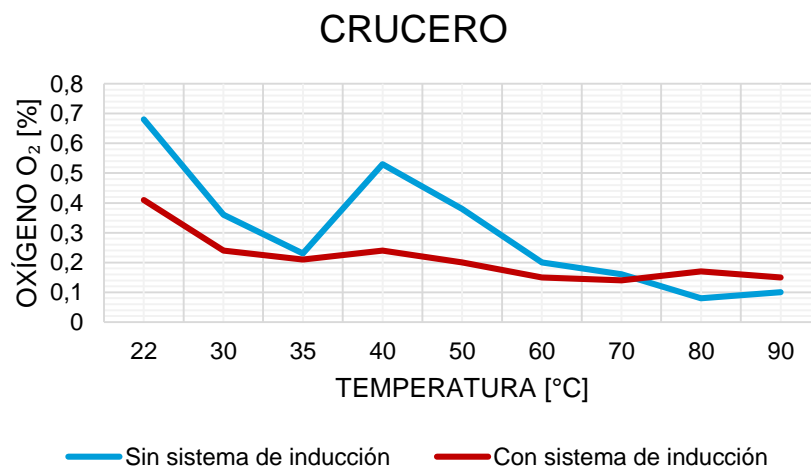
RALENTÍ

Temperatura [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
22,00	0,67	0,36
30,00	0,37	0,32
35,00	0,3	0,27
40,00	0,45	0,27
50,00	0,50	0,29
60,00	0,26	0,30
70,00	0,16	0,30
80,00	0,16	0,25
90,00	0,18	0,25



CRUCERO

Temperatura [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
22,00	0,68	0,41
30,00	0,36	0,24
35,00	0,23	0,21
40,00	0,53	0,24
50,00	0,38	0,20
60,00	0,20	0,15
70,00	0,16	0,14
80,00	0,08	0,17
90,00	0,10	0,15

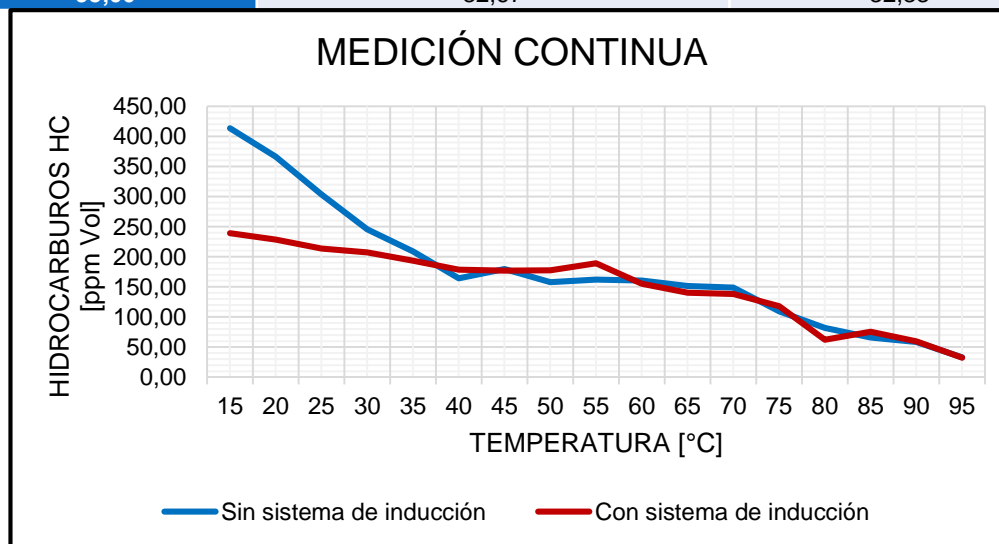


EMISIONES CON MEDICIÓN CONTINUA



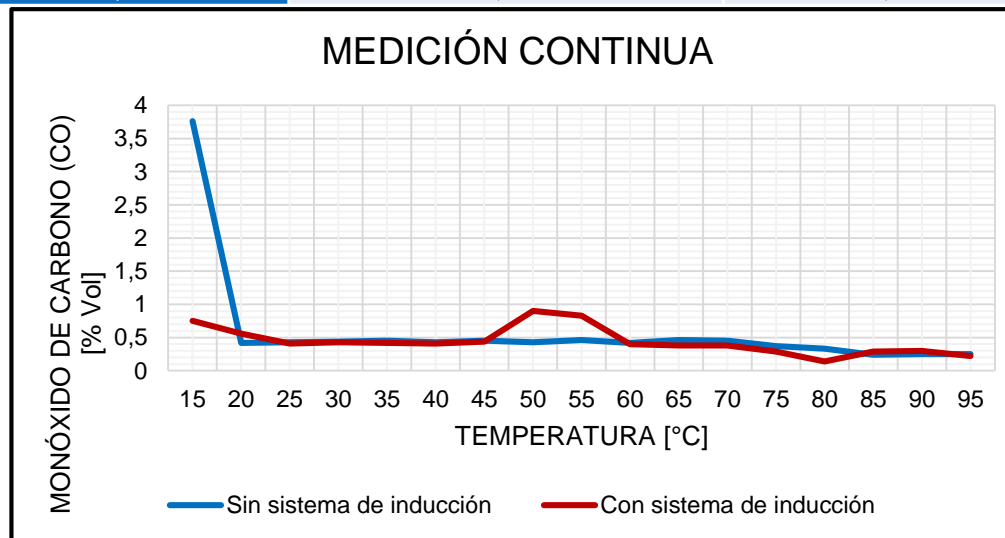
HC

HIDROCARBUROS HC [ppm Vol.]		
Temperatura [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
15,00	413,67	239,33
20,00	366,33	228,33
25,00	303,67	213,67
30,00	245,67	207,33
35,00	208,67	193,67
40,00	164,00	178,67
45,00	179,67	177,00
50,00	157,67	177,33
55,00	162,00	189,00
60,00	160,33	155,33
65,00	151,67	140,33
70,00	149,00	138,33
75,00	109,67	118,00
80,00	82,00	62,00
85,00	66,00	75,67
90,00	58,33	59,67
95,00	32,67	32,33



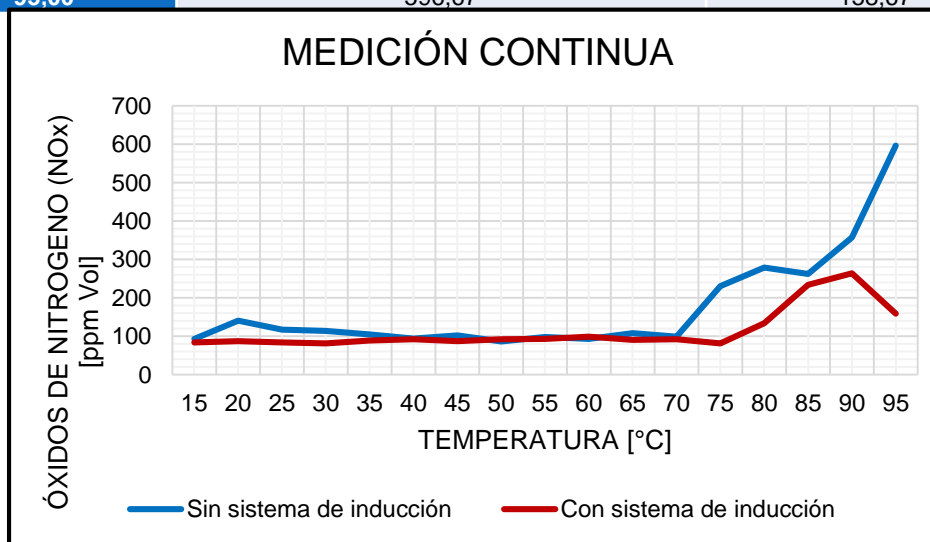
CO

MONÓXIDO DE CARBONO CO [% Vol.]		
Temperatura [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
15,00	3,76	0,75
20,00	0,42	0,56
25,00	0,43	0,41
30,00	0,44	0,43
35,00	0,45	0,42
40,00	0,43	0,41
45,00	0,45	0,44
50,00	0,43	0,90
55,00	0,46	0,83
60,00	0,42	0,40
65,00	0,46	0,38
70,00	0,45	0,38
75,00	0,37	0,29
80,00	0,33	0,14
85,00	0,24	0,29
90,00	0,25	0,30
95,00	0,25	0,22



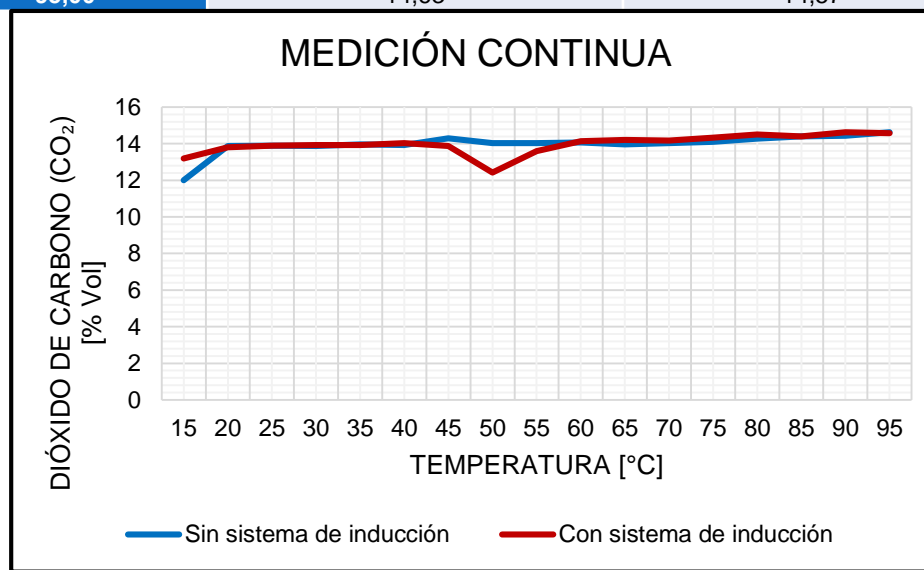
NOx

ÓXIDOS DE NITRÓGENO NOx (ppm Vol.)		
Temperatura [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
15,00	93,00	84,33
20,00	140,67	87,33
25,00	117,33	83,67
30,00	113,67	81,33
35,00	104,67	89,33
40,00	94,00	92,33
45,00	102,67	87,33
50,00	86,67	92,67
55,00	98,00	93,33
60,00	93,33	99,33
65,00	108,00	90,33
70,00	99,33	92,67
75,00	231,00	81,67
80,00	279,00	133,67
85,00	262,00	233,67
90,00	357,33	264,00
95,00	596,67	158,67



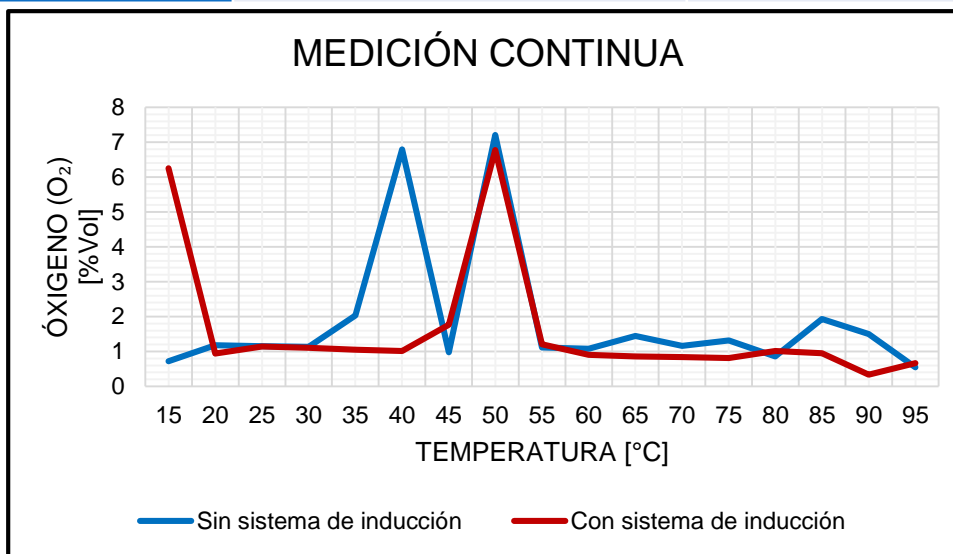
CO₂

DIÓXIDO DE CARBONO CO ₂ (% Vol.)		
Temperatura [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
15,00	12,00	13,20
20,00	13,87	13,80
25,00	13,90	13,90
30,00	13,87	13,93
35,00	13,97	13,93
40,00	13,93	14,03
45,00	14,30	13,87
50,00	14,03	12,43
55,00	14,03	13,60
60,00	14,07	14,13
65,00	13,97	14,20
70,00	14,03	14,17
75,00	14,10	14,33
80,00	14,27	14,50
85,00	14,40	14,40
90,00	14,43	14,63
95,00	14,63	14,57



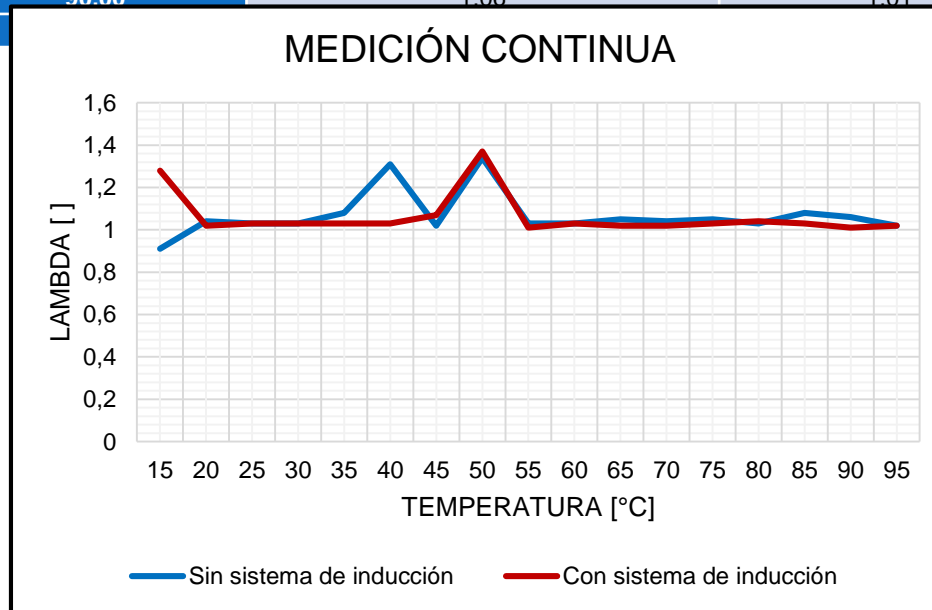
O₂

OXÍGENO O ₂ (% Vol.)		
Temperatura [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
15,00	0,72	6,25
20,00	1,18	0,94
25,00	1,15	1,14
30,00	1,13	1,11
35,00	2,03	1,05
40,00	6,79	1,01
45,00	0,98	1,77
50,00	7,21	6,78
55,00	1,12	1,21
60,00	1,08	0,9
65,00	1,45	0,86
70,00	1,16	0,84
75,00	1,32	0,81
80,00	0,86	1,01
85,00	1,93	0,95
90,00	1,5	0,34
95,00	0,55	0,67



LAMBDA

LAMBDA		
Temperatura [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
15,00	0,91	1,28
20,00	1,04	1,02
25,00	1,03	1,03
30,00	1,03	1,03
35,00	1,08	1,03
40,00	1,31	1,03
45,00	1,02	1,07
50,00	1,34	1,37
55,00	1,03	1,01
60,00	1,03	1,03
65,00	1,05	1,02
70,00	1,04	1,02
75,00	1,05	1,03
80,00	1,03	1,04
85,00	1,08	1,03
90,00	1,06	1,01

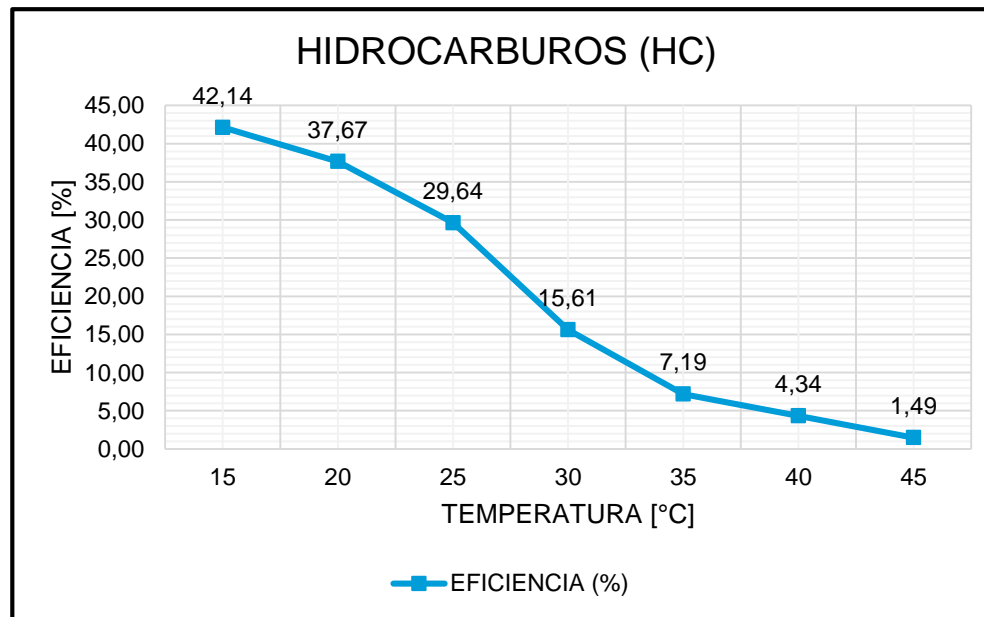


EFICIENCIA DEL SISTEMA EN LA TRANSFORMACIÓN CATALÍTICA DE EMISIONES



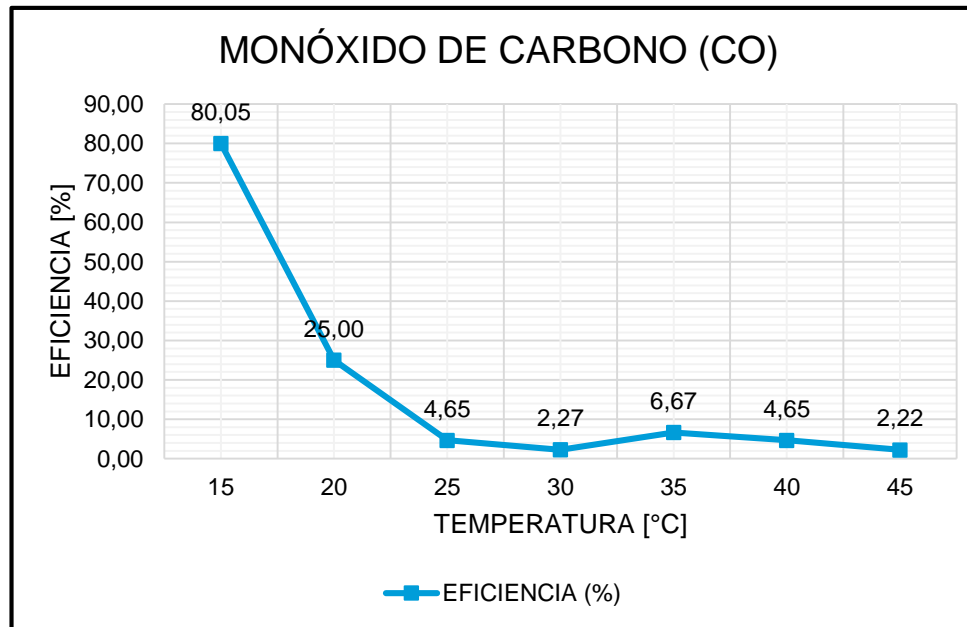
HIDROCARBUROS

Gas	T [°C]	Sin sistema (As)	Con sistema (Ac)	Ecuación	Eficiencia (%)
HC	15	413,67	239,33	$EF_A = \left[\frac{A_s - A_c}{A_s} \right] \times 100(\%)$	42,14
	20	366,33	228,33		37,67
	25	303,67	213,67		29,64
	30	245,67	207,33		15,61
	35	208,67	193,67		7,19
	40	186,78	178,67		4,34
	45	179,67	177,00		1,49
				\bar{X}	19,73



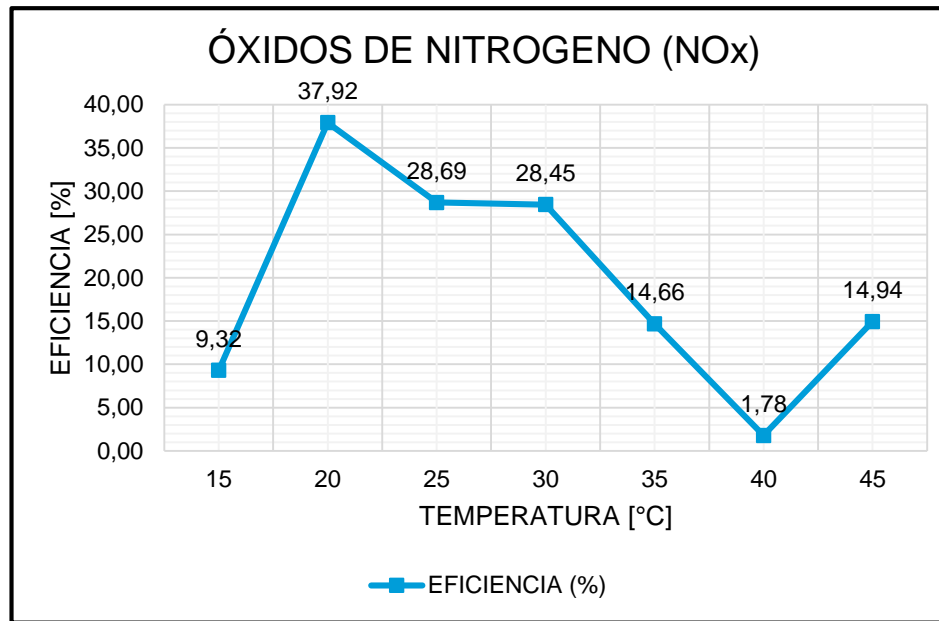
MONÓXIDO DE CARBONO

Gas	T [°C]	Sin sistema (As)	Con sistema (Ac)	Ecuación	Eficiencia (%)
CO	15	3,76	0,75	$EF_A = \left[\frac{A_s - A_c}{A_s} \right] \times 100(\%)$	80,05
	20	0,56	0,42		25,00
	25	0,43	0,41		4,65
	30	0,44	0,43		2,27
	35	0,45	0,42		6,67
	40	0,43	0,41		4,65
	45	0,45	0,44		2,22
				\bar{X}	17,93



ÓXIDOS DE NITROGENO

Gas	T [°C]	Sin sistema (As)	Con sistema (Ac)	Ecuación	Eficiencia (%)
NOx	15	93,00	84,33	$EF_A = \left[\frac{A_s - A_c}{A_s} \right] \times 100(\%)$	9,32
	20	140,67	87,33		37,92
	25	117,33	83,67		28,69
	30	113,67	81,33		28,45
	35	104,67	89,33		14,66
	40	94,00	92,33		1,78
	45	102,67	87,33		14,94
				\bar{X}	19,39

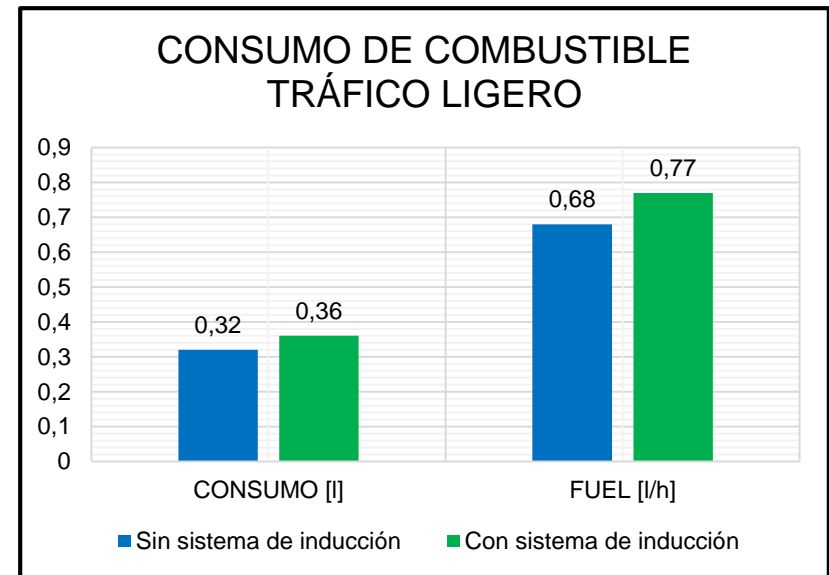
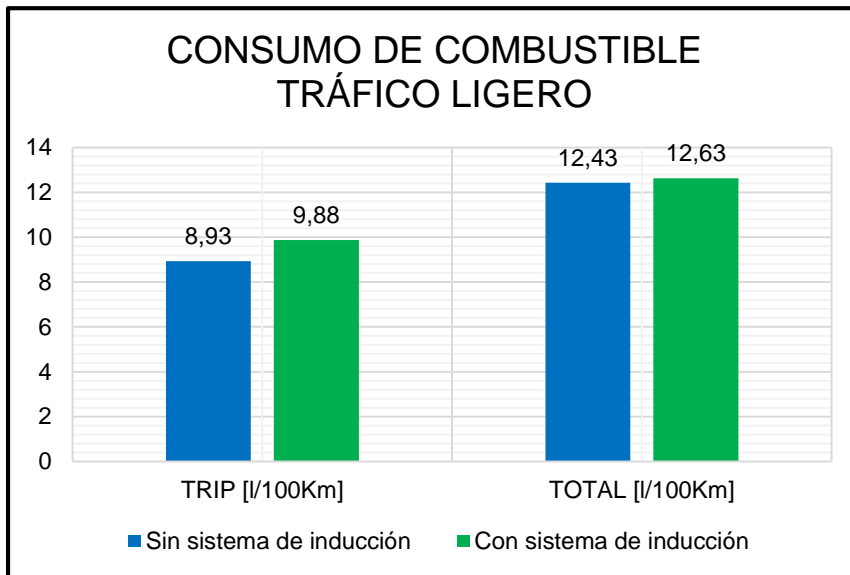


CONSUMO DE COMBUSTIBLE



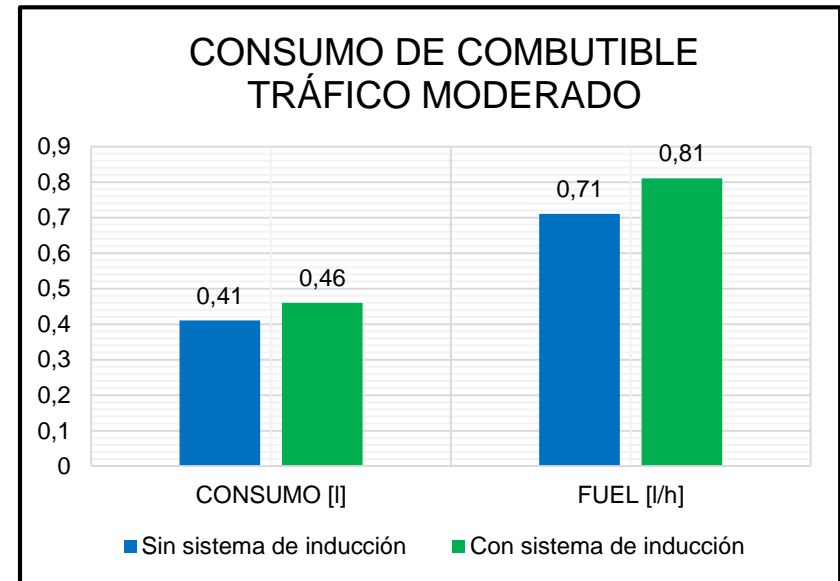
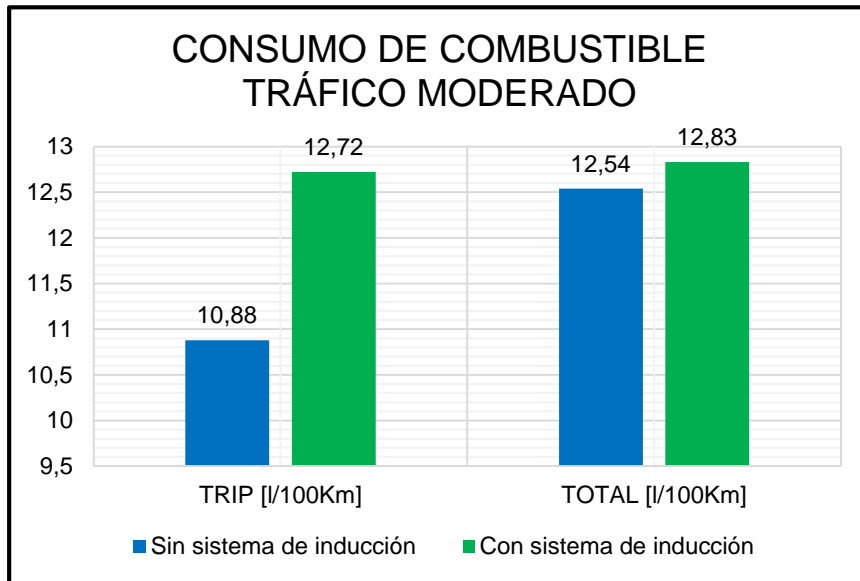
TRÁFICO LIGERO

CONSUMO DE COMBUSTIBLE TRÁFICO LIGERO				
CONDICIÓN	CONSUMO [l]	TRIP [l/100Km]	TOTAL [l/100Km]	FUEL [l/h]
Catalizador sin sistema de inducción	0,32	8,93	12,43	0,68
Catalizador con sistema de inducción	0,36	9,88	12,63	0,77
Variación	0,04	0,95	0,20	0,09
Porcentaje de variación en relación al funcionamiento sin sistema (%)	12,5	10,64	1,60	13,23



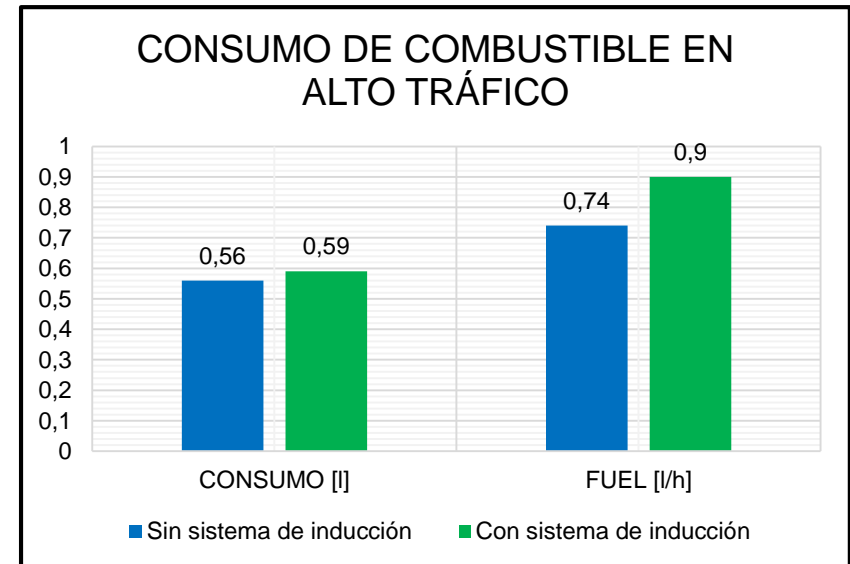
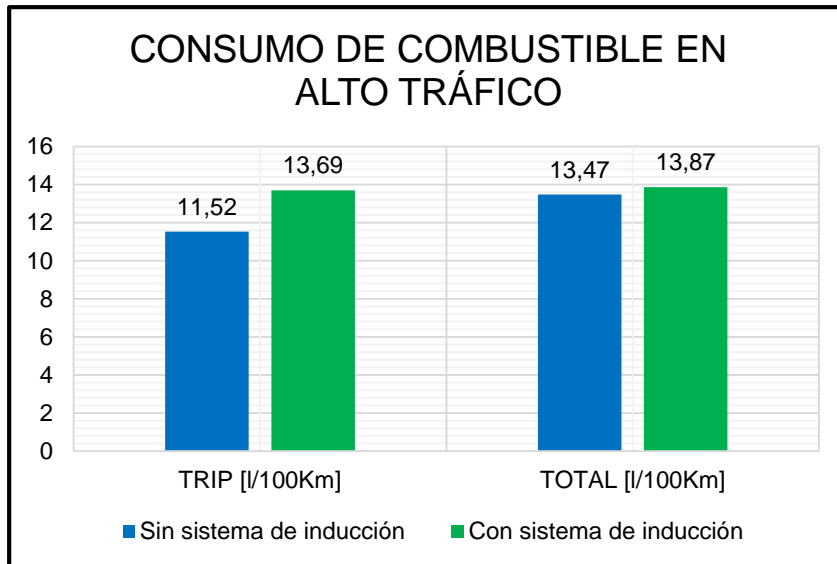
TRÁFICO MODERADO

CONSUMO DE COMBUSTIBLE TRÁFICO MODERADO				
CONDICIÓN	CONSUMO [l]	TRIP [l/100Km]	TOTAL [l/100Km]	FUEL [l/h]
Catalizador sin sistema de inducción	0,41	10,88	12,54	0,71
Catalizador con sistema de inducción	0,46	12,72	12,83	0,81
Variación	0,05	1,84	0,29	0,10
Porcentaje de variación en relación al funcionamiento sin sistema (%)	12,20	16,91	2,31	14,08



ALTO TRÁFICO

CONSUMO DE COMBUSTIBLE ALTO TRÁFICO				
CONDICIÓN	CONSUMO [l]	TRIP [l/100Km]	TOTAL [l/100Km]	FUEL [l/h]
Catalizador sin sistema de inducción	0,56	11,52	13,47	0,74
Catalizador con sistema de inducción	0,59	13,69	13,87	0,90
Variación	0,03	2,17	0,40	0,16
Porcentaje de variación en relación al funcionamiento sin sistema (%)	5,36	18,83	2,96	21,62

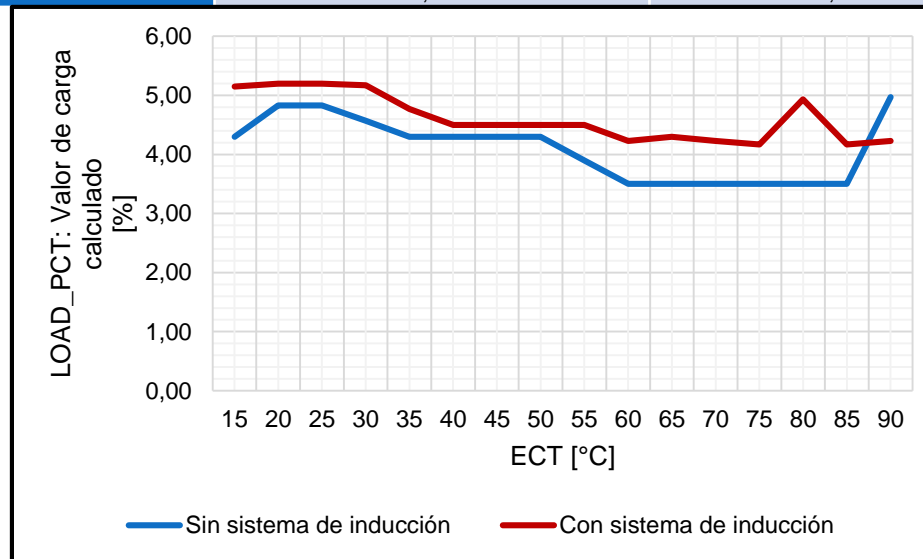


GESTIÓN ELECTRÓNICA DEL VEHÍCULO



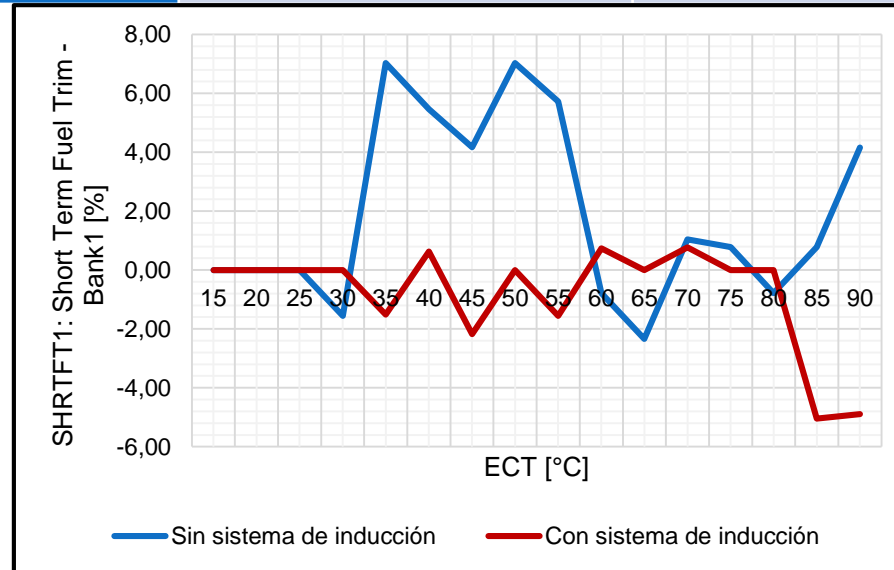
CARGA MOTOR

LOAD_PCT: Valor de carga calculado [%]		
ECT [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
15	4,30	5,15
20	4,83	5,20
25	4,83	5,20
30	4,57	5,17
35	4,30	4,77
40	4,30	4,50
45	4,30	4,50
50	4,30	4,50
55	3,90	4,50
60	3,50	4,23
65	3,50	4,30
70	3,50	4,23
75	3,50	4,17
80	3,50	4,93
85	3,50	4,17
90	4,97	4,23



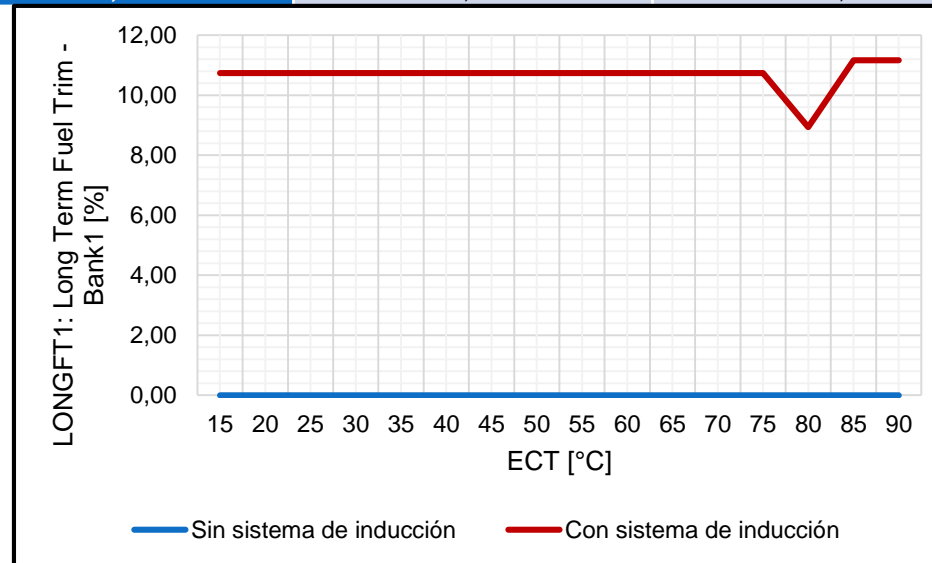
AJUSTE DE COMBUSTIBLE A CORTO PLAZO

SHRTFT1: Short Term Fuel Trim - Bank1 [%]		
ECT [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
15,00	0,00	0,00
20,00	0,00	0,00
25,00	0,00	0,00
30,00	-1,56	0,00
35,00	7,03	-1,51
40,00	5,47	0,63
45,00	4,17	-2,18
50,00	7,03	0,00
55,00	5,73	-1,56
60,00	-0,78	0,74
65,00	-2,34	0,00
70,00	1,04	0,77
75,00	0,78	0,00
80,00	-0,78	0,00
85,00	0,78	-5,05
90,00	4,16	-4,89



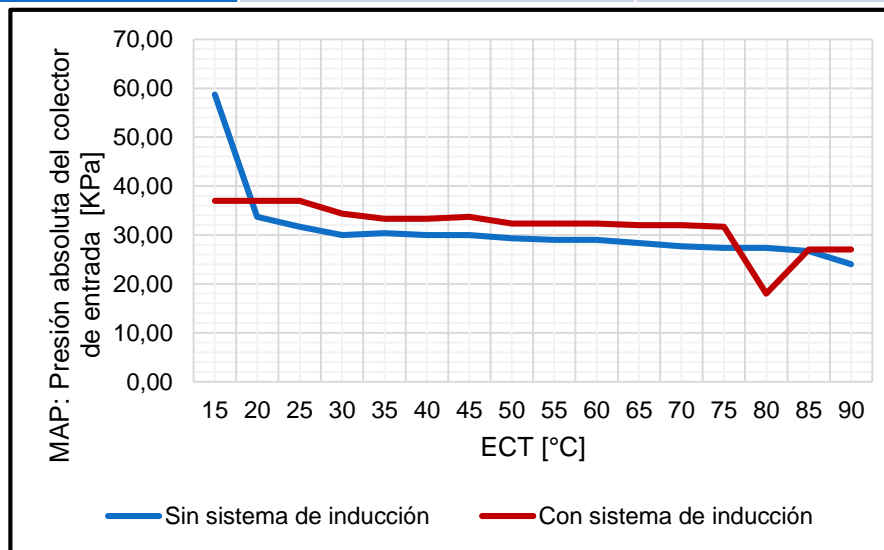
AJUSTE DE COMBUSTIBLE A LARGO PLAZO

LONGFT1: Long Term Fuel Trim - Bank1 [%]		
ECT [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
15,00	0,00	10,74
20,00	0,00	10,74
25,00	0,00	10,74
30,00	0,00	10,74
35,00	0,00	10,74
40,00	0,00	10,74
45,00	0,00	10,74
50,00	0,00	10,74
55,00	0,00	10,74
60,00	0,00	10,74
65,00	0,00	10,74
70,00	0,00	10,74
75,00	0,00	10,74
80,00	0,00	8,94
85,00	0,00	11,17
90,00	0,00	11,17



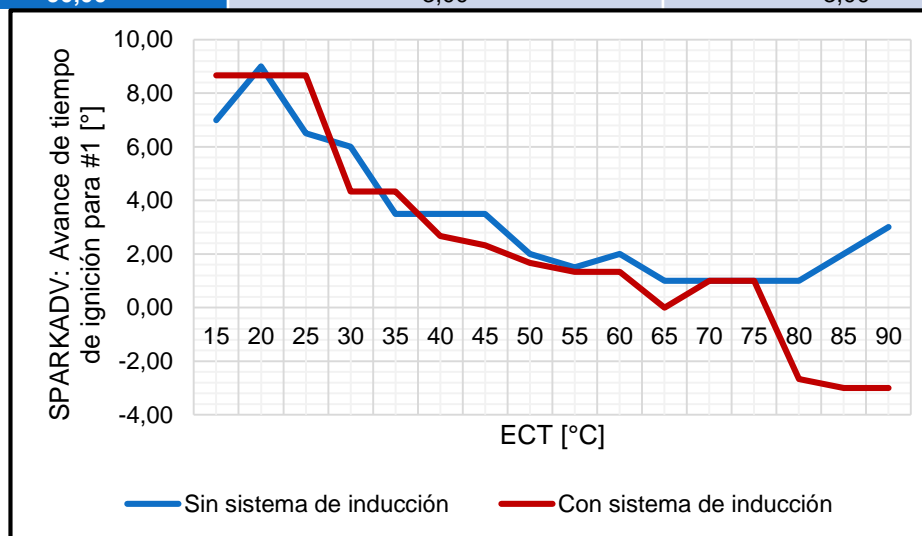
PRESIÓN ABSOLUTA

MAP: Presión absoluta del colector de entrada [KPa]		
ECT [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
15,00	58,67	37,00
20,00	33,67	37,00
25,00	31,67	37,00
30,00	30,00	34,33
35,00	30,33	33,33
40,00	30,00	33,33
45,00	30,00	33,67
50,00	29,33	32,33
55,00	29,00	32,33
60,00	29,00	32,33
65,00	28,33	32,00
70,00	27,67	32,00
75,00	27,33	31,67
80,00	27,33	18,00
85,00	26,67	27,00
90,00	24,00	27,00



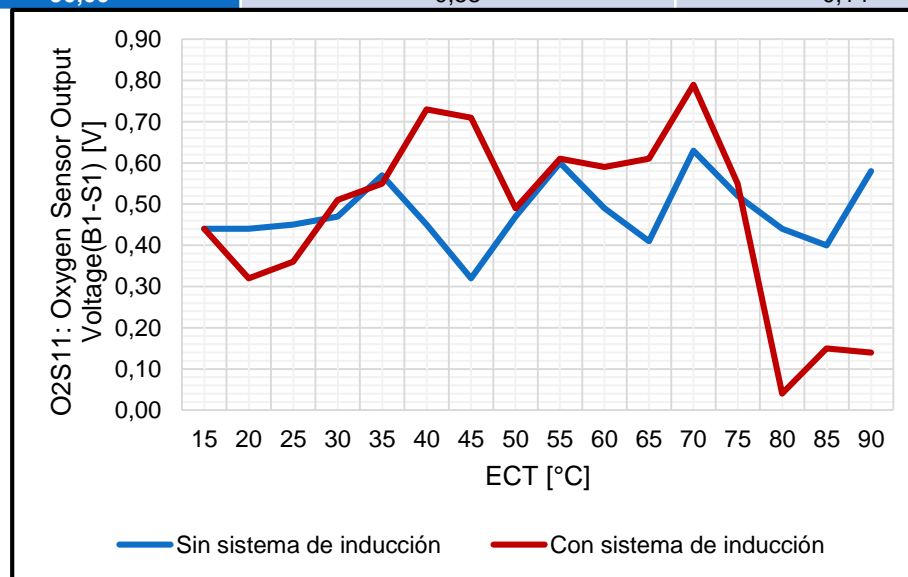
AVANCE TIEMPO IGNICIÓN

SPARKADV: Avance de tiempo de ignición para #1 [°]		
ECT [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema inducción
15,00	7,00	8,67
20,00	9,00	8,67
25,00	6,50	8,67
30,00	6,00	4,33
35,00	3,50	4,33
40,00	3,50	2,67
45,00	3,50	2,33
50,00	2,00	1,67
55,00	1,50	1,33
60,00	2,00	1,33
65,00	1,00	0,00
70,00	1,00	1,00
75,00	1,00	-2,67
80,00	2,00	-3,00
85,00	3,00	-3,00
90,00		



VOLTAGE SENSOR DE OXÍGENO

O2S11: Oxygen Sensor Output Voltage(B1-S1) [V]		
ECT [°C]	Catalizador sin sistema de inducción	Catalizador con sistema de inducción
15,00	0,44	0,44
20,00	0,44	0,32
25,00	0,45	0,36
30,00	0,47	0,51
35,00	0,57	0,55
40,00	0,45	0,73
45,00	0,32	0,71
50,00	0,47	0,49
55,00	0,60	0,61
60,00	0,49	0,59
65,00	0,41	0,61
70,00	0,63	0,79
75,00	0,52	0,55
80,00	0,44	0,04
85,00	0,40	0,15
90,00	0,58	0,14



CONCLUSIONES

- Se recopiló información teórica técnica y científica inherente a sistemas de control de emisiones y equipos de medición de parámetros característicos del motor de combustión interna que fundamente la investigación.
- Con el propósito de obtener datos reales y confiables de cada una de las pruebas se realizó la puesta a punto del motor y los sistemas automotrices del vehículo siguiendo un plan de mantenimiento preventivo.
- Se implementó el monito scanner OBDLink SX para la medición de consumo de combustible mediante el protocolo de comunicación J1850 VPW.



- Se diseñó y construyó un sistema de inducción experimental para el calentamiento del catalizador realizando pruebas de emisión, potencia, torque, consumo de combustible y gestión electrónica antes y después de la implementación del sistema de monitoreo y control de temperatura del convertidor catalítico.
- El sistema de inducción, se diseñó mediante modelado CAD y simulación de su funcionamiento con un estudio estático térmico considerando valores de simulación como temperatura ambiente 22°C y temperatura de 309°C del monolito cerámico mediante la transferencia de calor por conducción térmica validando el diseño.
- Para alcanzar la temperatura óptima de operación del catalizador la bobina calefactora alcanza una temperatura de $880,03^{\circ}\text{C}$, con un flujo de calor direccional máximo de $31,073 \text{ W/mm}^2$ y un flujo de calor total de $96,048 \text{ W/mm}^2$.



- Para la construcción de la bobina calefactora se obtuvieron datos importantes del modelado a partir del diseño asistido por computador como el material Nicromo y sus dimensiones, según simulación y cálculos la bobina presento una resistencia de $0,1\Omega$, además la intensidad de consumo de 120 amperes con una potencia de disipación de 1440W capaz de liberar una energía de 576000 Joule.
- Debido a las condiciones de funcionamiento y a los altos requerimientos de energía se optó por implementar una fuente independiente que cubra las necesidades de consumo de energía por parte de la bobina.



- La eficiencia del inversor de potencia seleccionado es del 90% siendo necesario un consumo de 1600 W-h, la energía necesaria que debe suministrar la fuente es de 133,33 A-h para el funcionamiento del sistema de calentamiento, se seleccionó dos baterías de 12V y 170 A-h conectados en paralelo incrementando la autonomía y el tiempo de descarga.
- Se ejecutaron pruebas del tiempo de calentamiento del catalizador genuino con un tiempo de 17,5 minutos en alcanzar una temperatura máxima de 309°C y estabilizar su valor, con el uso del sistema de inducción tardó 4,25 minutos en alcanzar la temperatura optima de funcionamiento del catalizador, presentando una efectividad de 78,57% de calentamiento en relación al funcionamiento sin sistema.



- Se determinó el valor del torque máximo en promedio de 67 lbf. ft con el uso del sistema de calentamiento y de 93,47 lbf. ft sin el uso de sistema, representando el 28,25% de disminución de su valor en relación al funcionamiento sin el sistema.
- La potencia con el sistema de calentamiento mostro un valor promedio de 65,60 lbf. ft y de 62,80 lbf. ft sin el sistema, que corresponde a 0,32% de incremento en su valor en relación al funcionamiento sin el sistema.



- Las pruebas de análisis de emisiones residuales en ralentí durante el arranque en frío a 22°C de temperatura del motor determinaron una clara disminución de los agentes contaminantes mediante el uso del sistema de inducción en relación al funcionamiento sin el uso del sistema, los hidrocarburos disminuyeron de un valor de 340,33 ppm a 133,33 ppm, representando una disminución de 60,82%, el monóxido de carbono de 1,34% a 0,26% reflejando una disminución de 79,03%. Mientras que el dióxido de carbono incremento su valor de 13,13% a 13,9% estabilizando su valor por encima del 14% en volumen mientras el motor alcanza su temperatura óptima de funcionamiento.



- El comportamiento de los gases residuales mediante el funcionamiento del sistema de calentamiento en relación al funcionamiento sin el sistema en velocidad crucero durante el arranque en frío presento una disminución de la concentración de hidrocarburos de 122,33 ppm a 93,67 ppm, presentando una reducción de 23,42%, el monóxido de carbono presento un valor de 0,35% en volumen con y sin sistema de calentamiento, a medida que aumenta la temperatura del motor presento un ligero incremento con un valor más evidente de 0,24% a 50°C en relación al funcionamiento sin sistema, mientras que el dióxido de carbono aumento su valor de 13,66% a 13,83% reflejando un incremento de 1,24%, logrando un valor máximo de 14,06% en volumen a temperatura optima de funcionamiento.



- El análisis de emisiones en medición continua indico una clara disminución de los gases contaminantes con funcionamiento del sistema de calentamiento durante el arranque en frio a 15°C con valores de concentración de hidrocarburos de 413,67 ppm a 239,33 ppm reflejando una disminución de 42,15%, el monóxido de carbono de 3,76% a 0,75%, mostrando una reducción del 80% y el óxido de 93 ppm a 84,33 ppm representado una disminución de 9,32%, todos ellos con relación al funcionamiento sin el sistema.
- La máxima eficiencia del sistema de inducción para catalizador en la transformación catalítica de los gases contaminantes durante el arranque en frio del vehículo es de 42,14% a 15°C para hidrocarburos, de 80,05% a 15°C para monóxido de carbono y de 37,92% a 20°C para óxidos de nitrógeno.



- La evaluación de la eficiencia promedio del sistema de inducción en la transformación catalítica de los tres gases más contaminantes durante el trabajo en frío del vehículo en comparación al funcionamiento del catalizador estándar es de 19,73% para hidrocarburos, 17,93% para monóxido de carbono y de 19,39% para óxidos de nitrógeno durante el funcionamiento del sistema.
- La influencia del sistema de calentamiento en la gestión electrónica de combustible genero el aumento del 1% en el valor de la carga calculado, así también varió en un grado el avance de tiempo de ignición, mientras que el ajuste de combustible a largo plazo genero un valor constante de compensación de combustible de 10,74% generando una falla que se puede detectar únicamente con el scanner mediante el monitoreo de DTCs en tiempo real.



- Los resultados obtenidos mediante la evaluación de consumo de combustible a partir de una ruta establecida dentro del perímetro urbano de la ciudad de Latacunga con una distancia total recorrida de 3,57 kilómetros, reflejaron que en tráfico ligero con sistema se consume 12,63 l/100Km y sin sistema 12,43 l/100Km representando el 1,60% en el incremento de consumo, en tráfico moderado con sistema es de 12,83 l/100Km y sin sistema de 12,54 l/100Km manifestando un incremento de 2,31% de consumo, mientras que en alto tráfico con sistema es de 13,87 l/100Km y sin sistema de 13,47 l/100Km con un incremento de consumo de 2,96%, la utilización del sistema de calentamiento influye en el consumo de combustible.



- El sistema de inducción presento una disminución considerable de los subproductos de la combustión durante el arranque en frío; lo que es un indicativo de la eficiencia del sistema de calentamiento para el catalizador con el fin de mejorar la eficiencia catalítica lo que demuestra que la implementación fue exitosa para los fines previstos en la investigación.



RECOMENDACIONES

- Evaluar el sistema de inducción para catalizador a diferentes altitudes sobre el nivel del mar y con diferentes tipos de combustible con el uso del analizador de emisiones portátil.
- Desarrollar y evaluar un sistema de calentamiento para catalizador con inyección de aire comprimido a alta temperatura directamente en el catalizador para mejorar el proceso catalítico.
- Implementar un sistema de calentamiento modificando el monolito cerámico del convertidor catalítico mediante la aplicación de resistencias calefactoras generando calor directamente en el catalizador, y evaluar el comportamiento de las emisiones producidas por la combustión.



- Evaluar el sistema de inducción para catalizador trabajando a la par con nuevas tecnologías anticontaminación como la inyección de agua en los cilindros de los motores de encendido por chispa.
- Desarrollar un sistema de inducción para el catalizador de reducción selectiva SCR para el tratamiento de los óxidos de nitrógeno en motores de encendido por compresión evaluando el comportamiento de los gases residuales.
- Impulsar este tipo de investigaciones a fin de mejorar y desarrollar un producto competitivo y de calidad que busca mitigar en parte el impacto ambiental producido por los gases de escape de motores de combustión interna.



“Si tu no trabajas por tus sueños, alguien te contratara para que trabajes por los suyos”.

Steve Jobs



E S P E
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA