

**DEPARTAMENTO DE ENERGÍA MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

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

**TEMA: “ANÁLISIS TERMOGRÁFICO DE CONVERTIDORES CATALÍTICOS
RECUPERADOS, MEDIANTE REACCIÓN REDOX E INYECCIÓN DE GASES
INERTES”**

**AUTORES:
AMÁN CUADRADO, ANDRÉS MAURICIO
SALGUERO ALMACHI, EDISON DANIEL**

**DIRECTOR:
ING. QUIROZ ERAZO, LEONIDAS ANTONIO**

**LATACUNGA
ENERO, 2022**



“El fracaso es simplemente una nueva oportunidad de empezar de nuevo, esta vez de forma más inteligente”

Henry Ford



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CONTENIDO

- Resumen
- Antecedentes investigativos
- Planteamiento del problema
- Justificación
- Objetivo general
- Objetivos específicos
- Hipótesis
- Equipos empleados en el estudio
- Diseño y construcción del equipo de tratamiento
- Proceso de recuperación del catalizador y muestras en el equipo de tratamiento
- Análisis termográfico
- Análisis SEM y EDS
- Pruebas estáticas
- Pruebas dinámicas
- Conclusiones
- Recomendaciones



RESUMEN

El presente proyecto de titulación analizó termográficamente convertidores catalíticos recuperados, mediante reacción redox e inyección de gases inertes; mismo que partió en base al diseño del equipo de tratamiento a temperatura programada, la selección respectiva tanto de materiales como de cada uno de los elementos necesarios para este fin; a su vez contó con la utilización de protocolos de pruebas tanto para el tratamiento de muestras de monolito como del catalizador en sí, los cuales permiten tener la obtención de muestras de monolito y su posterior tratamiento, siendo estas sometidas a condiciones de recuperación como tiempo, caudal de gases vectores y temperatura programada; permitiendo caracterizar materiales mediante pruebas SEM y pruebas EDS. Las pruebas de emisiones de gases contaminantes están basadas en protocolos armonizados como WLTP y NEDC, tomando en cuenta la normativa INEN 2203, mediante las cuales se pueden desarrollar de manera eficiente y respectiva cada una de las pruebas tanto estáticas o de laboratorio y las pruebas dinámicas.

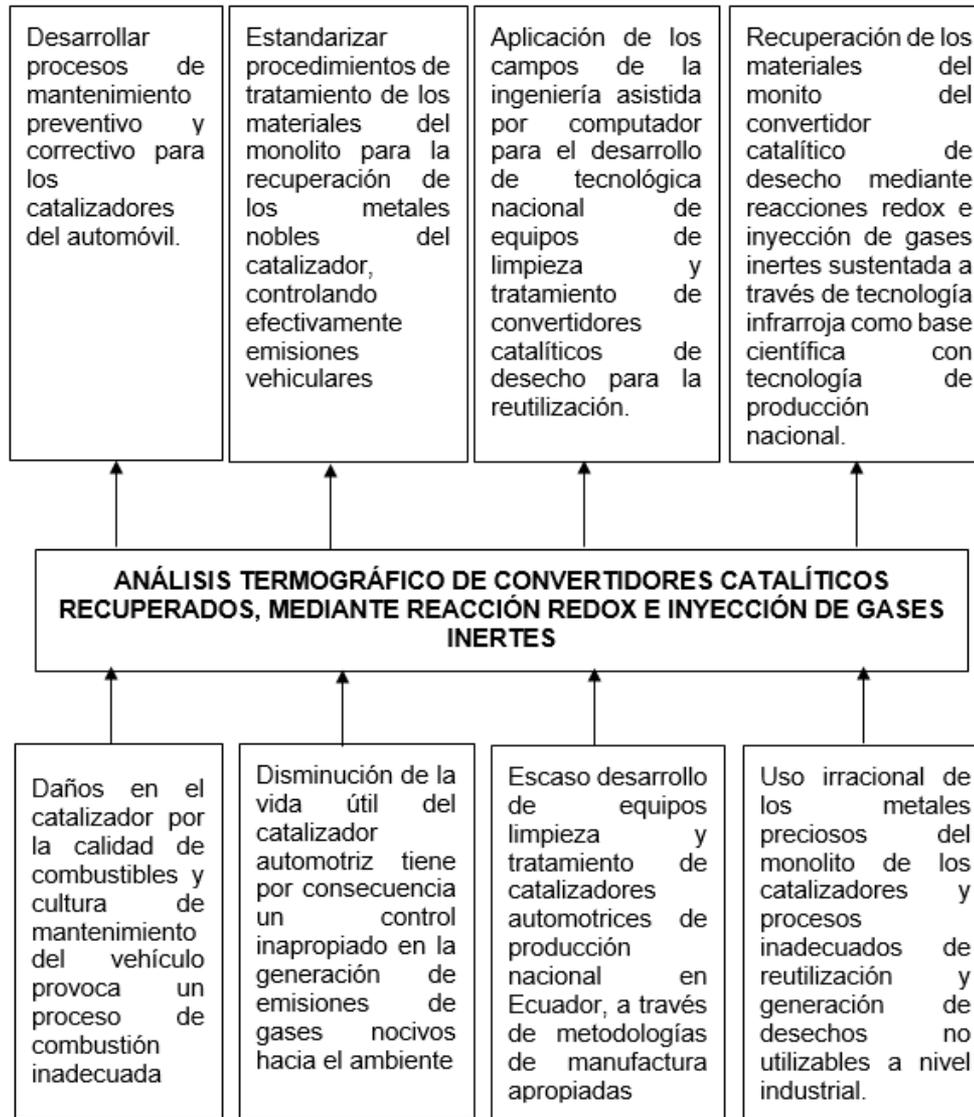


ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

- A inicios del siglo XX en Ecuador comenzó a regir la norma técnica INEN 2204, la misma que establece los límites de emisiones en vehículos a gasolina, a partir del año 1901 los vehículos fueron cambiando sus sistemas de escape para lograr la reducción de gases nocivos principalmente mediante el uso de convertidores catalíticos
- La presencia de aceite en el escape (sellos de válvulas desgastados, junta de culata soplada, anillos en mal estado) el catalizador a de sufrir daños, dado que este aceite produce hollín que obstruye los paneles del convertidor catalítico impidiendo que el mismo cumpla con su función, y provocando que el motor pierda potencia dado que los gases de escape no salen adecuadamente.
- El monolito que se encuentra en el interior del catalizador tiene impregnada una resina, misma que contiene metales nobles como son el Platino (Pt), Paladio (Pd) los cuales cumplen con la función de oxidación dentro del catalizador, y el Rodio (Rh) que cumple la función de reducción. Estos metales nobles son los elementos activos dentro del catalizador, iniciando y acelerando las reacciones químicas.



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



JUSTIFICACIÓN

En el control de emisiones de fuentes móviles, el catalizador automotriz cumple un rol fundamental, por lo que es necesario el óptimo rendimiento de este componente.

La contaminación del ambiente y su incidencia en el desarrollo de la actividad climática del planeta genera preocupación debido a la incidencia que automotores y otras fuentes contribuyen al calentamiento global, estos problemas son causados por la emisión de gases de efecto invernadero originado por el gran tamaño del parque automotor que circulan en el mundo, donde gran porcentaje de este trabaja con niveles de contaminación fuera de los rangos permisibles fijados por los organismos de control mundial y estatales fijadas a través de normativas.

Este tipo de componente requiere mantenimiento preventivo y correctivo como cualquier otro componente de los sistemas automotrices, es por eso que la recuperación de convertidores catalíticos mediante reacciones redox e inyección de gases inertes aplicando un análisis termográfico, permitirá prolongar y optimizar la vida útil, de tal manera de contribuir en la reducción de gases contaminantes.



OBJETIVO GENERAL

- Analizar termográficamente convertidores catalíticos recuperados, mediante reacciones redox e inyección de gases inertes.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fundamentar teóricamente mediante fuentes bibliográficas confiables la reutilización de los catalizadores automotrices mediante procesos de tratamiento con equipos de limpieza para la recuperación de sus materiales nobles.
- Realizar el modelado y simulación de los procesos térmicos para el diseño de los sistemas mecánicos, eléctricos y programación de equipos de tratamiento de catalizadores automotrices a través de herramientas computacionales CAD
- Efectuar simulaciones del comportamiento estructural del monolito en los procesos redox desde la visión térmica con modelos simples de acuerdo a la geometría compleja desde el movimiento, flujo y distribución de temperatura y gases inertes.



- Evaluar el comportamiento a temperaturas y tiempos programados detectando cambios de geometría del monolito a fin de garantizar el rendimiento y la durabilidad en el tiempo de un convertidor tratado.
- Desarrollar una metodología de tratamiento con procesos adecuados de recuperación de los metales del catalizador que se aplicará con equipos de limpieza en función de variables y condiciones específicas.
- Ejecutar pruebas de laboratorio (SEM) y (EDS) para la caracterización morfológica de la composición química de los metales nobles del monolito del convertidor catalítico
- Analizar forma – tamaño de poro promedio y evaluar cualitativa y cuantitativa la presencia de elementos químicos en catalizadores antes y después del tratamiento aplicado.



HIPÓTESIS

- ¿Mediante el análisis termográfico se podrá determinar la eficiencia de los convertidores catalíticos recuperados a través del proceso redox e inyección de gases inertes?



EQUIPOS EMPLEADOS EN EL ESTUDIO

AGS 688



KANE AUTOPLUS 4-2



CÁMARA TERMOGRÁFICA



MEDIDOR DE REVOLUCIONES MGT-300



DISEÑO DEL EQUIPO DE TRATAMIENTO A TEMPERATURA PROGRAMADA



Características del tubo estructural

Tubo Estructural Cuadrado		
Especificaciones generales	Norma	NTE INEN 2415
	Calidad	SAE J 403 1008
	Acabado	Acero negro
Dimensiones	Sección transversal (mm ²)	30X30
	Espesor (mm)	1.2
	Peso kg/m	1.09

Características del acero ASTM – A36

Acero ASTM-A36		
Propiedades Mecánicas	Esfuerzo a la fluencia mínimo	250 MPa
	Esfuerzo a la tensión	400 – 550 MPa
	Módulo de elasticidad	200 GPa
Propiedades Físicas	Densidad	7,850 g/cm ³
	Relación de Poisson	0.26



Características de la resistencia del reactor grande

Resistencia tipo abrazadera		
Material resistivo (alambre de forma plana)	Potencia	2000 W
	Resistencia por metro	3.43 Ω
	Material	FeNi
	Sección transversal	4X0.1 mm ²

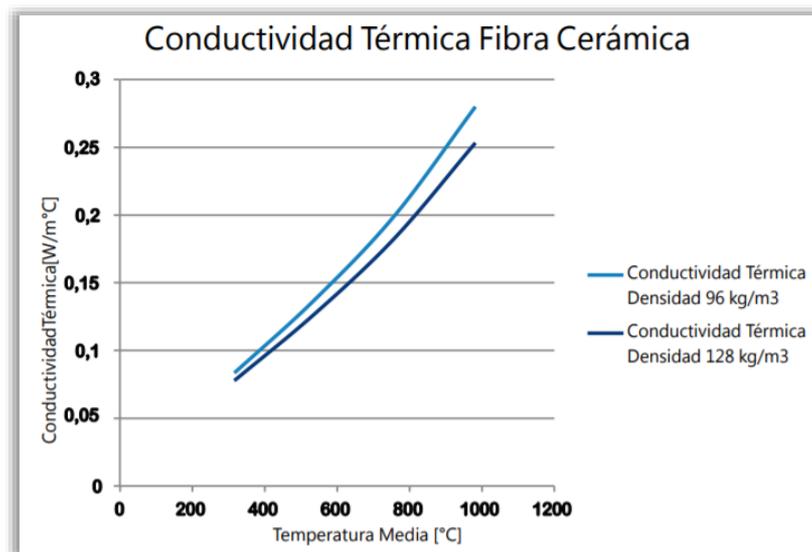
Características de la resistencia del reactor pequeño

Resistencia tubular		
Características	Potencia	65 W/in
	Material	Cu
	Diámetro	0.260 in
	Tensión	240 V



Características del material térmico

Fibra cerámica		
Características	Temperatura de servicio	800 – 1200 °C
	Conductividad térmica a 800°C (96 kg/m ³)	0.24 W/m ² K
	Conductividad térmica a 800°C (128 kg/m ³)	0.19 W/m ² K



DISEÑO NEUMÁTICO

Características de mangueras de alta presión

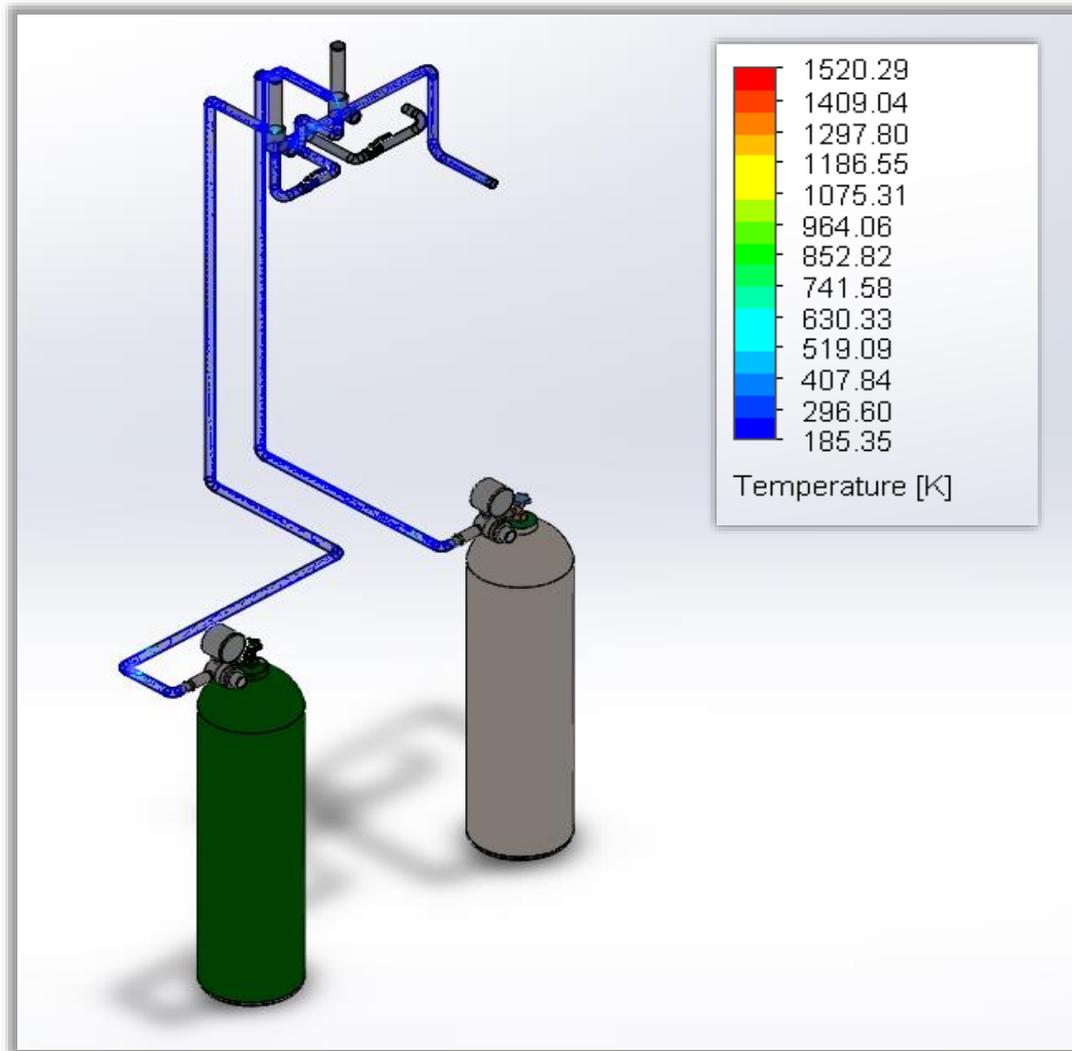
Manguera de alta presión		
Características	Material	<i>Caucho con refuerzo de lona</i>
	Presión de trabajo	<i>300 PSI</i>
	Presión de ruptura	<i>900 PSI</i>
	Temperatura de trabajo	<i>-35°C / +90°C</i>
	Díámetro	<i>1/4 in</i>

Características de flujómetros

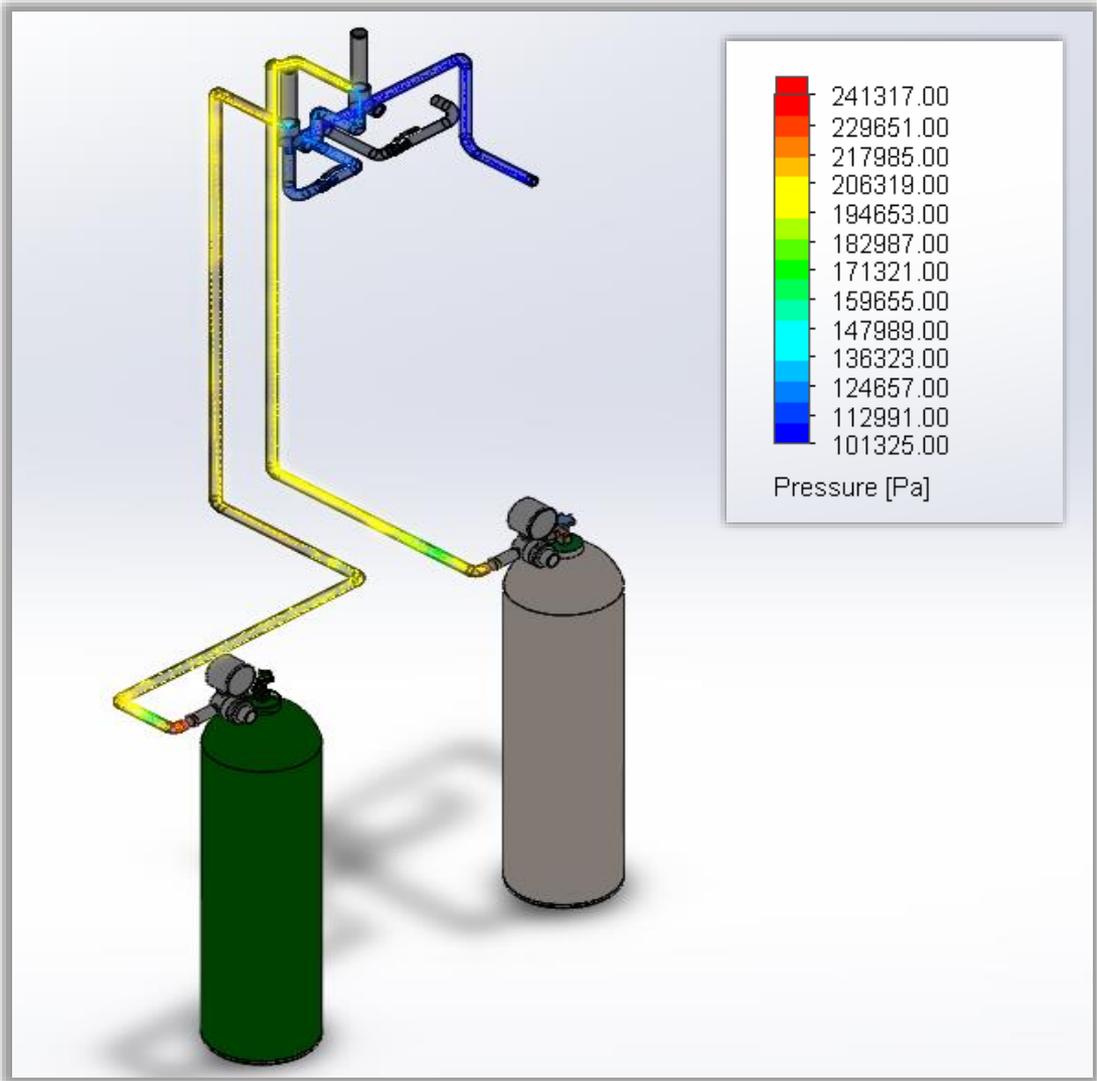
Flujómetros		
Características	Marca	<i>MADA</i>
	Caudal volumétrico	<i>1 lt/min</i>
	Presión máxima	<i>50 PSI</i>
	Fluidos	<i>O2 , N</i>
	Peso	<i>0.23 kg</i>



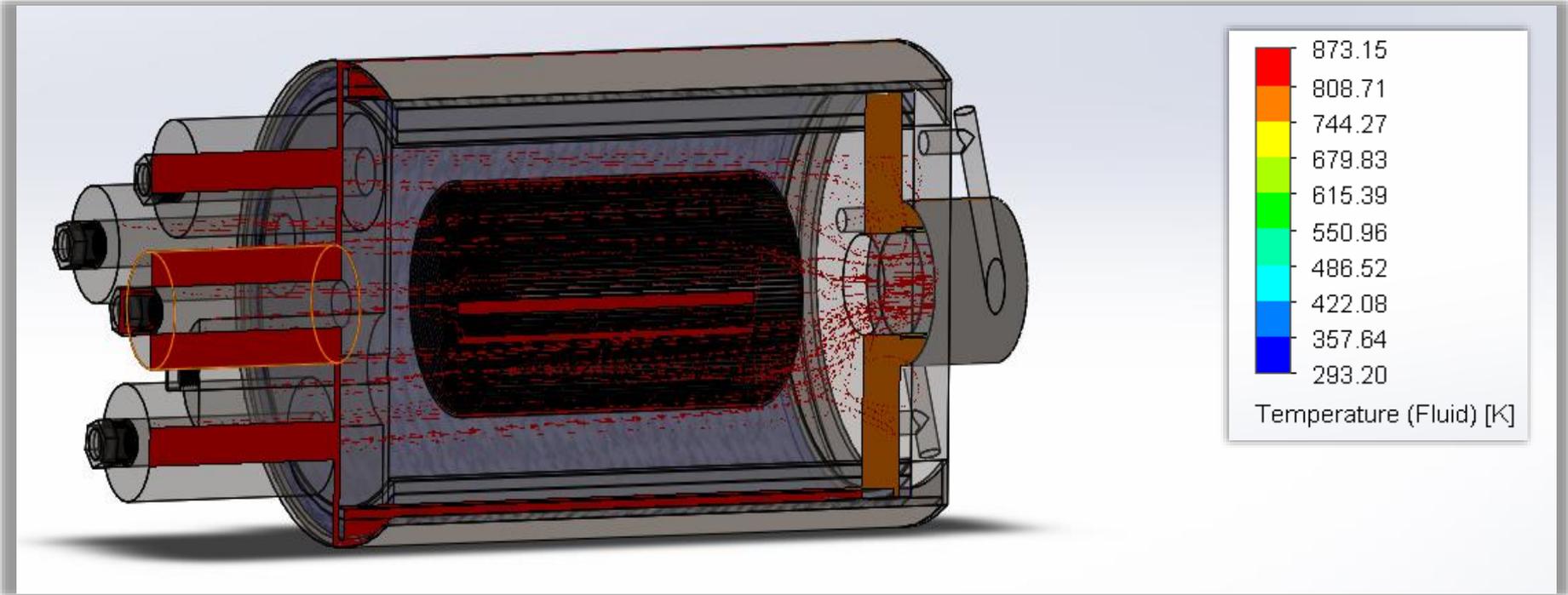
Análisis de temperatura en cañerías



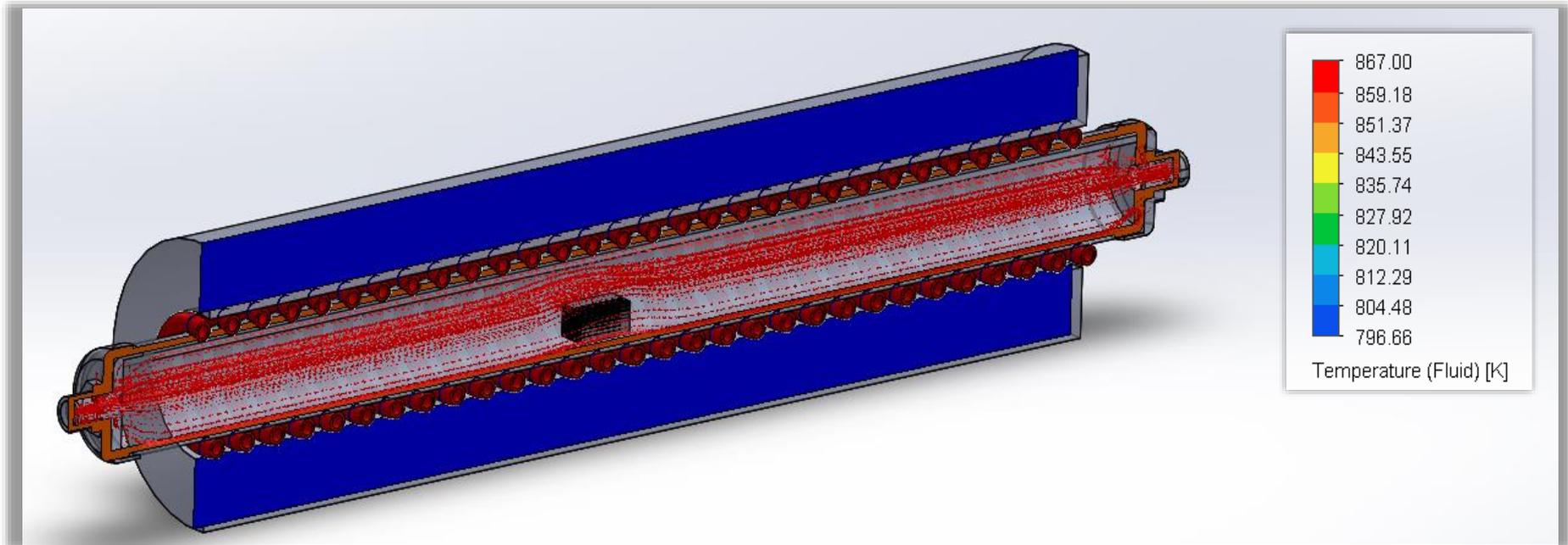
Análisis de presión en cañerías



Análisis de temperatura del tratamiento en el catalizador



Análisis de temperatura en el tratamiento de muestras



DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

Relé SSR



**Fusible CAMSCO
RT14-20**



Interruptor



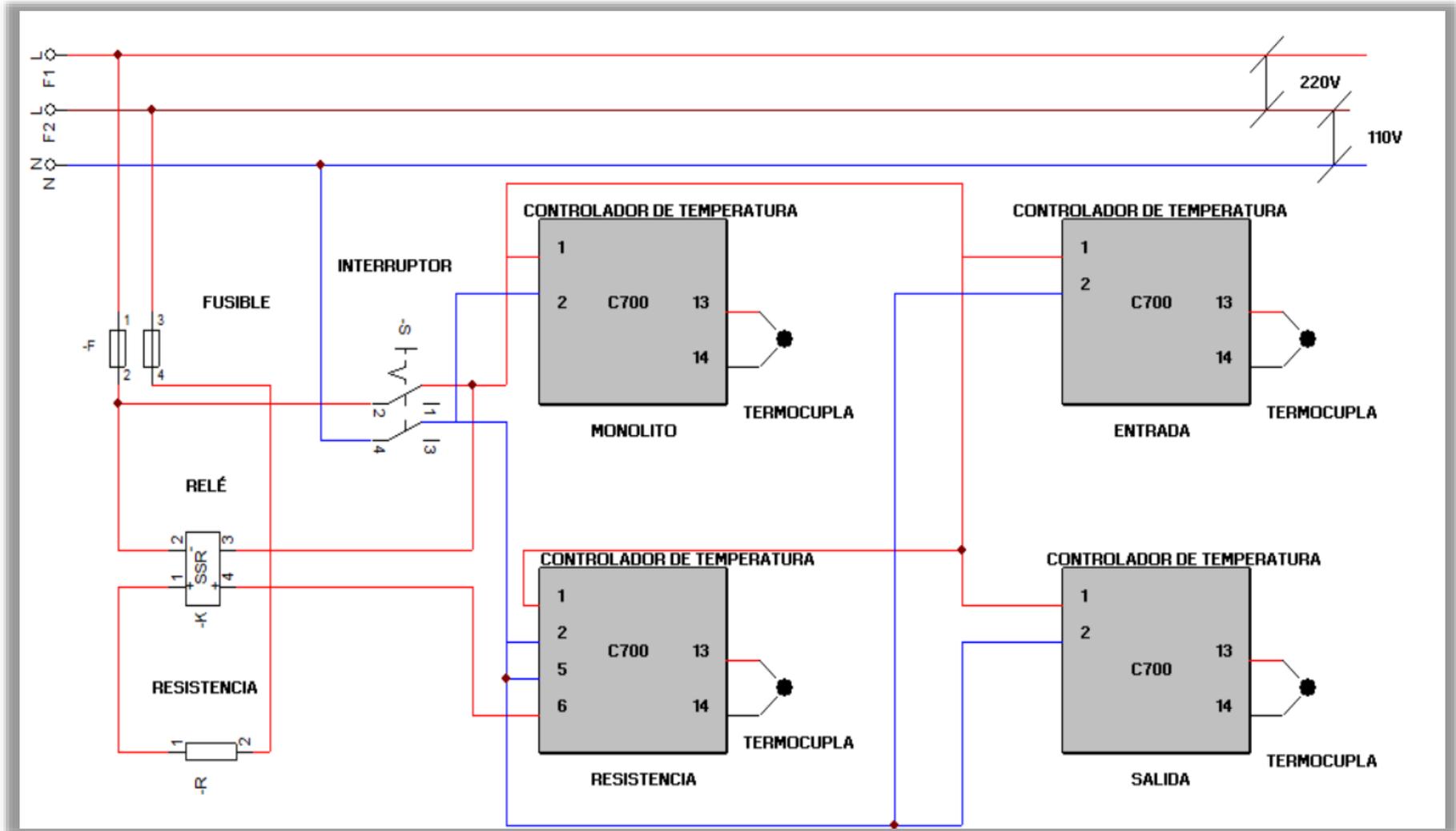
Controlador de Temperatura



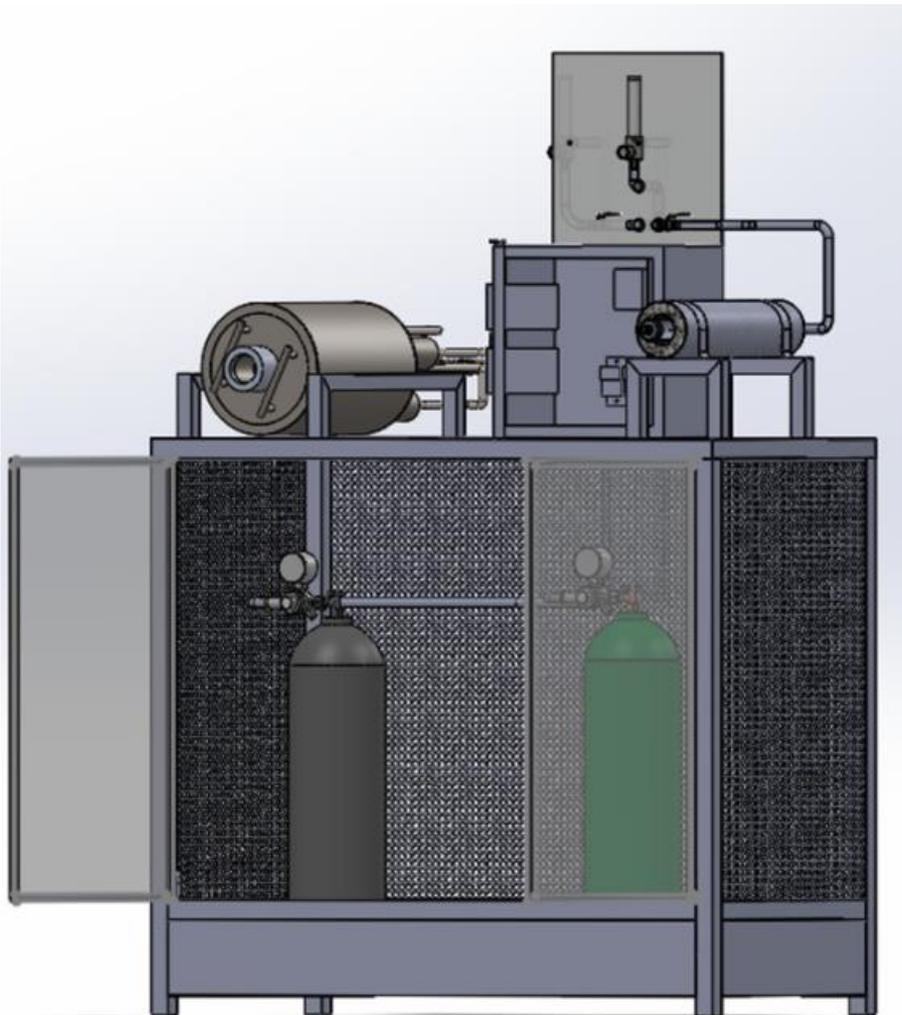
Termopar



Diagrama de conexión del equipo



Diseño final del equipo de tratamiento



PROCESO DE RECUPERACIÓN DEL CATALIZADOR Y MUESTRAS EN EL EQUIPO DE TRATAMIENTO



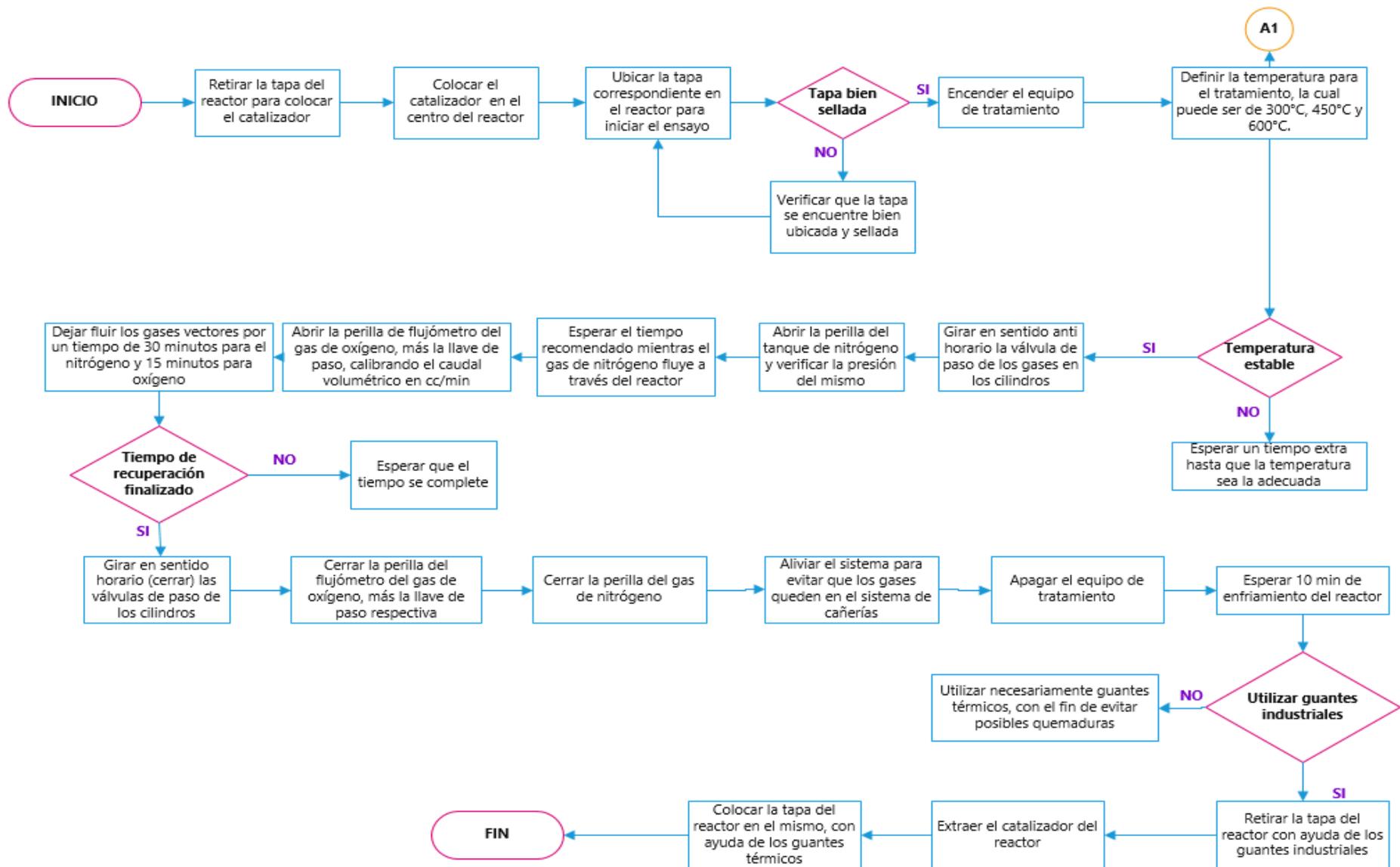
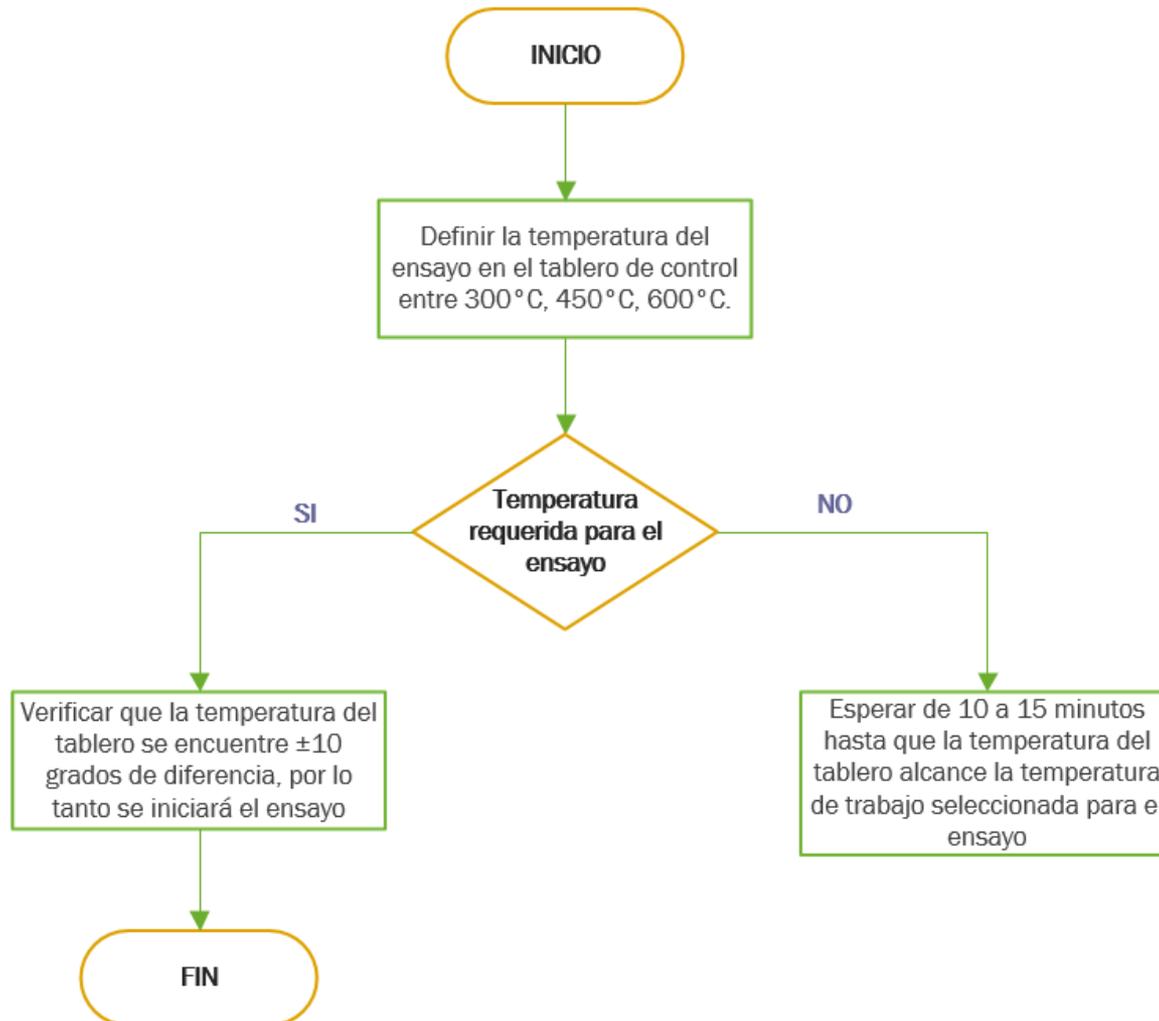


Diagrama de flujo A1



ANÁLISIS TERMOGRÁFICO



PROCESO DE OXIDACIÓN A TEMPERATURA PROGRAMADA DEL CATALIZADOR

Temperatura de entrada

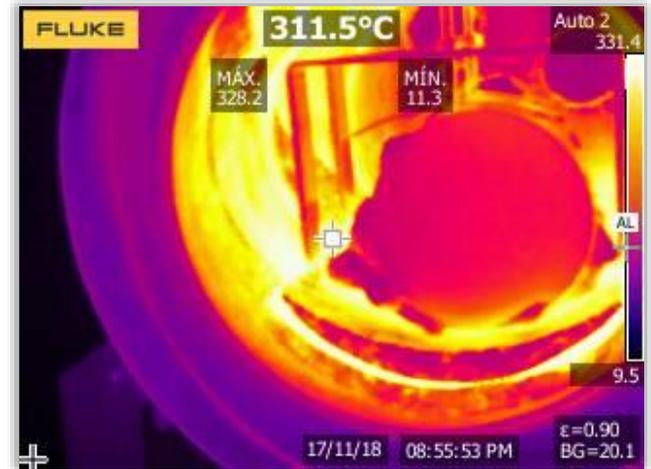


Temperatura de salida



PROCESO DE OXIDACIÓN A TEMPERATURA PROGRAMADA DEL CATALIZADOR

Temperatura de resistencia



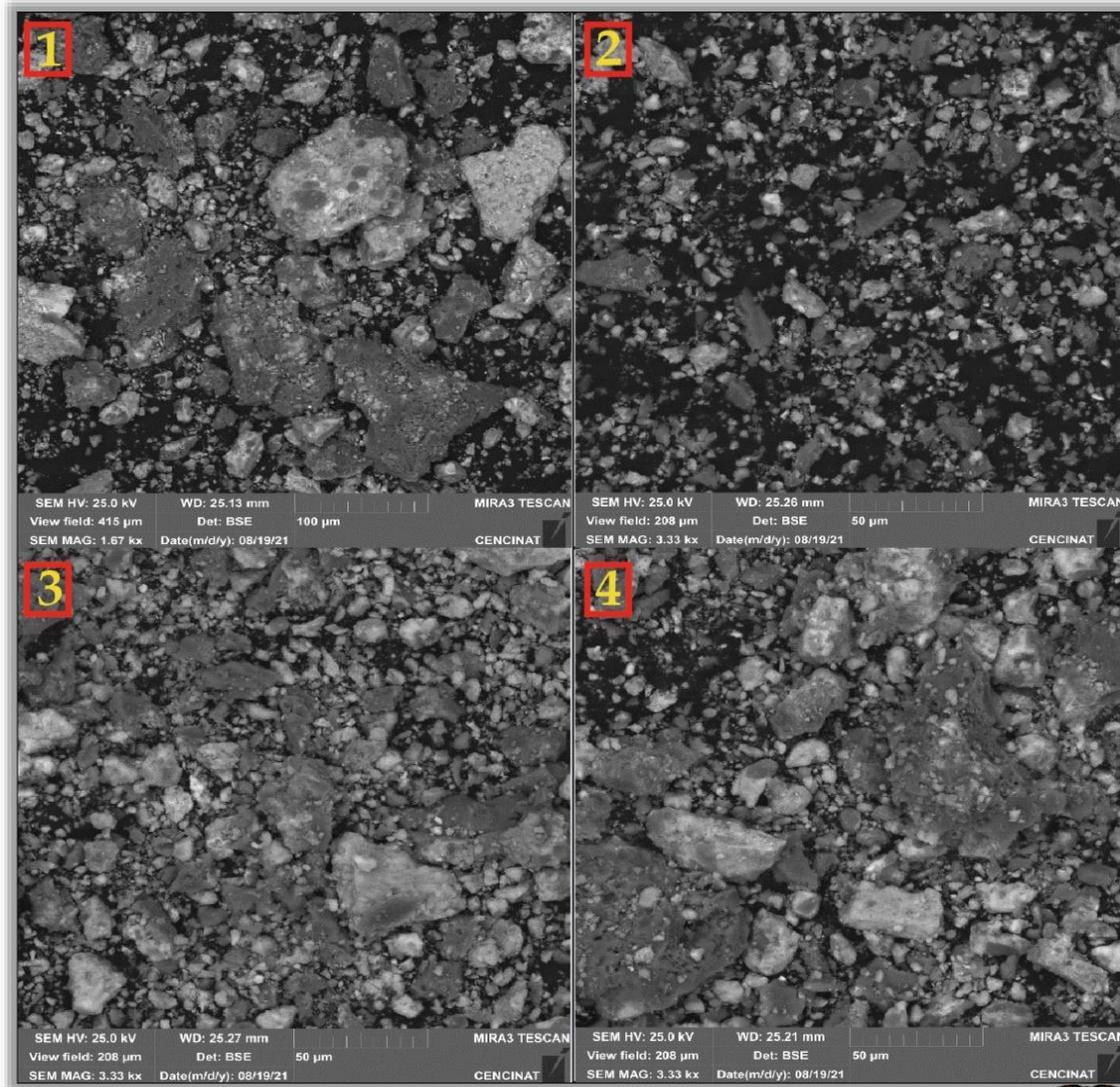
Temperatura de monolito

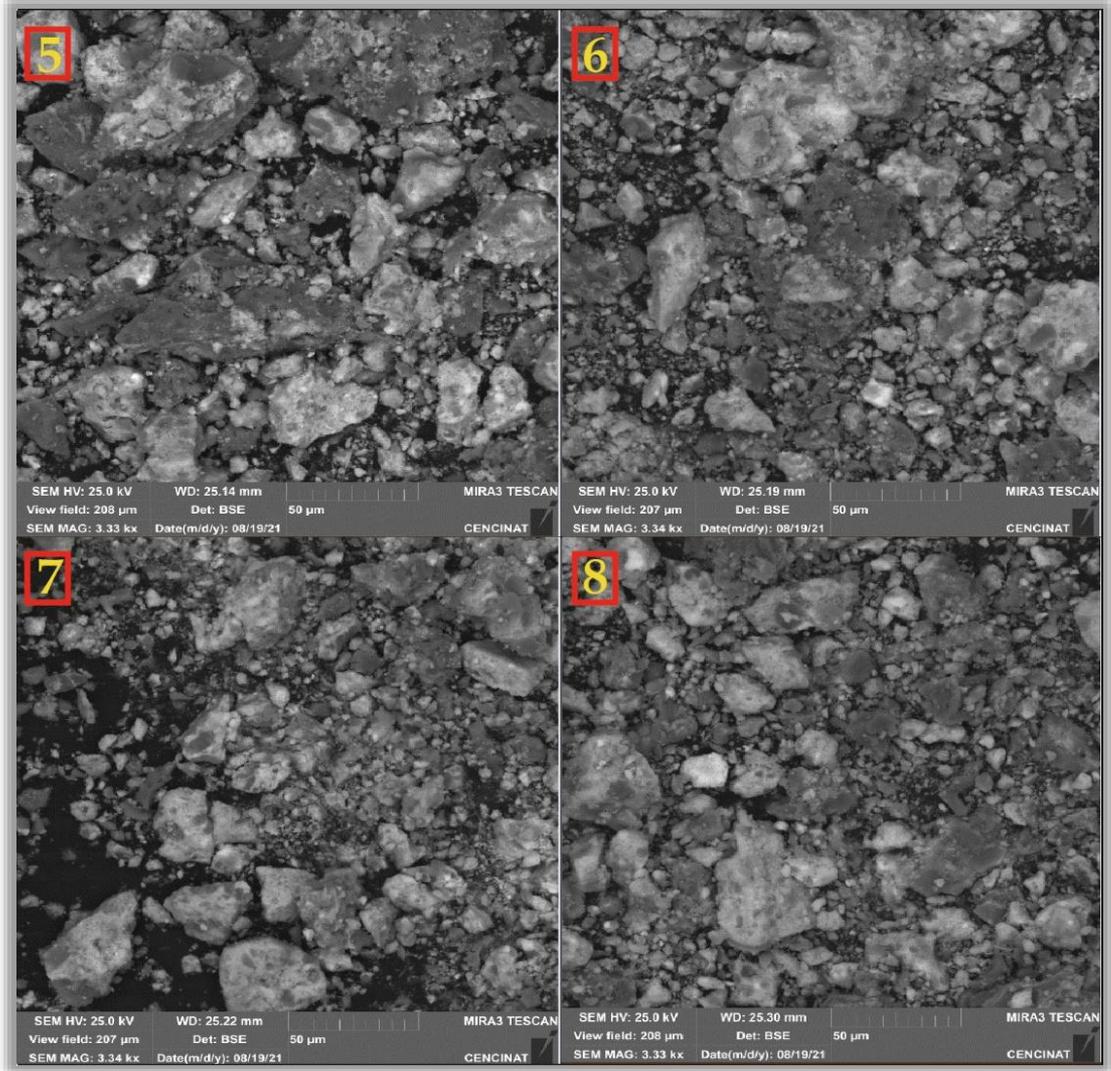


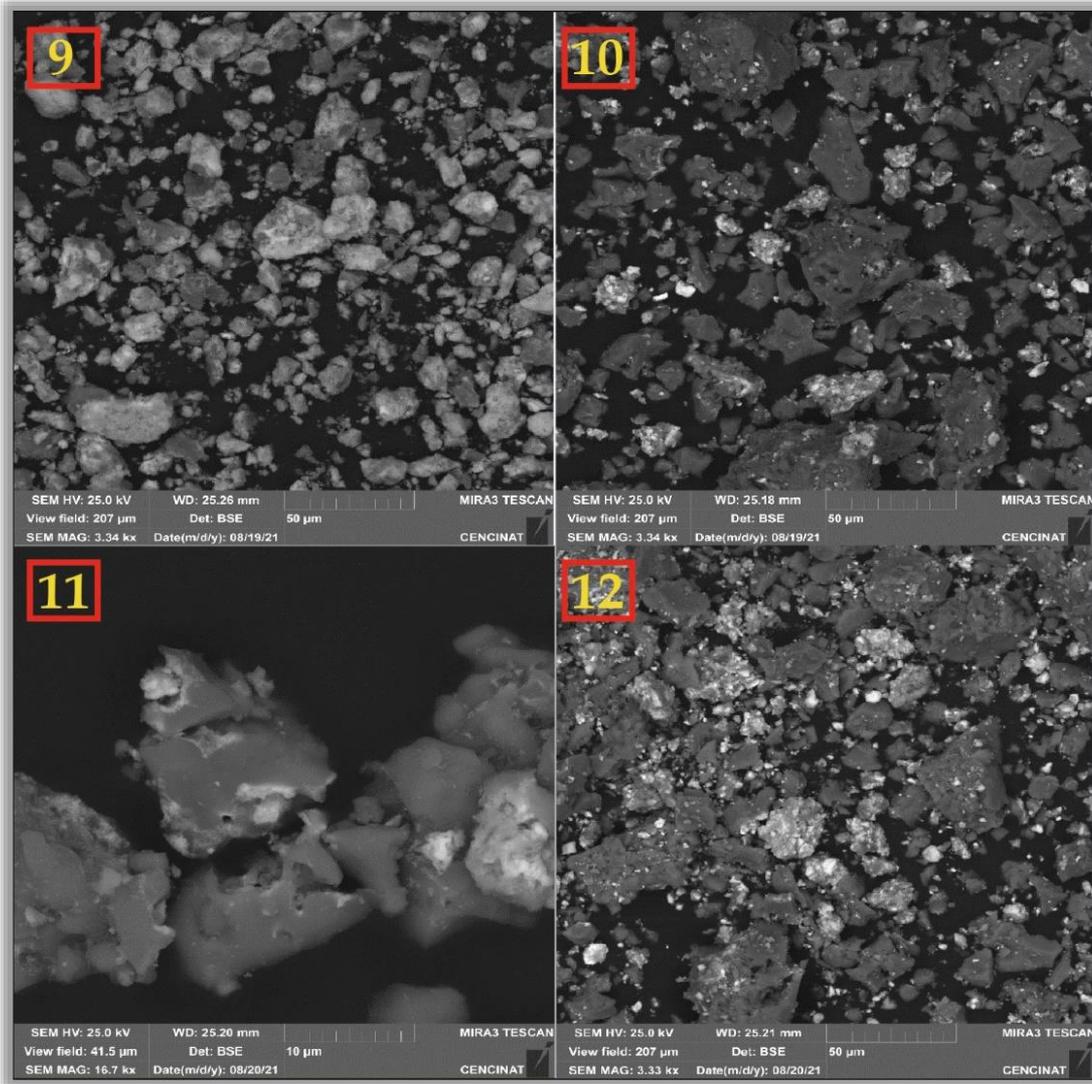
ANÁLISIS SEM Y EDS

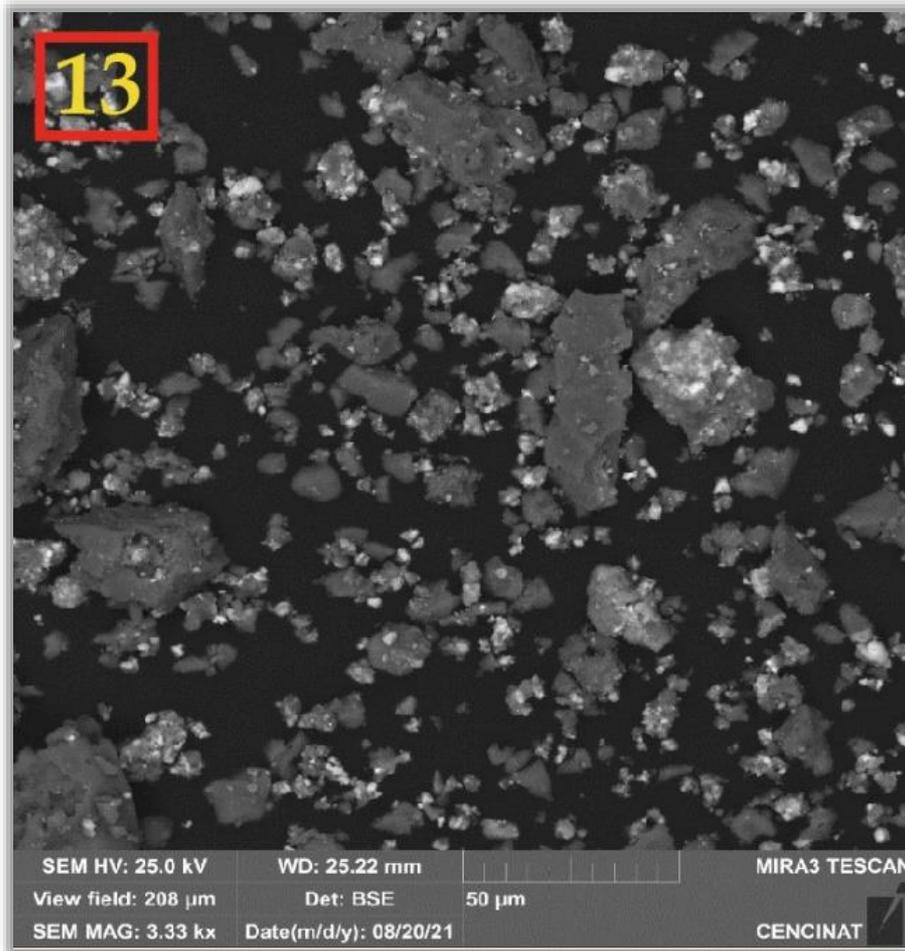


ANÁLISIS SEM



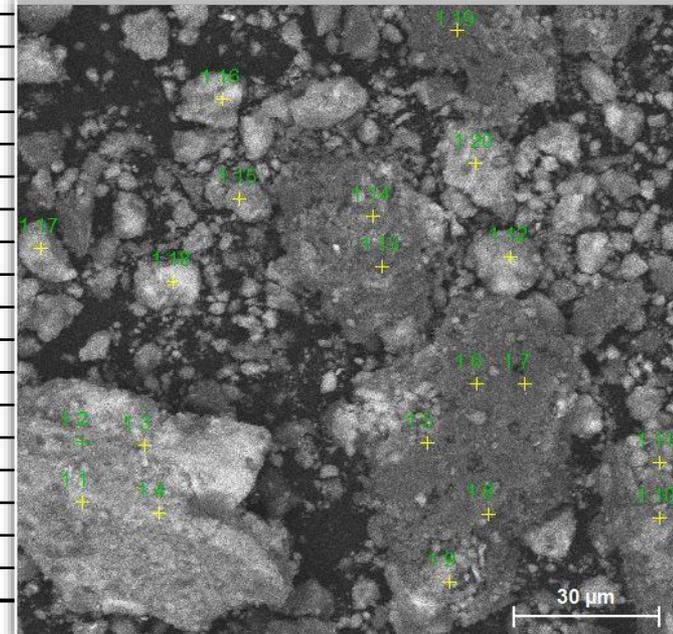




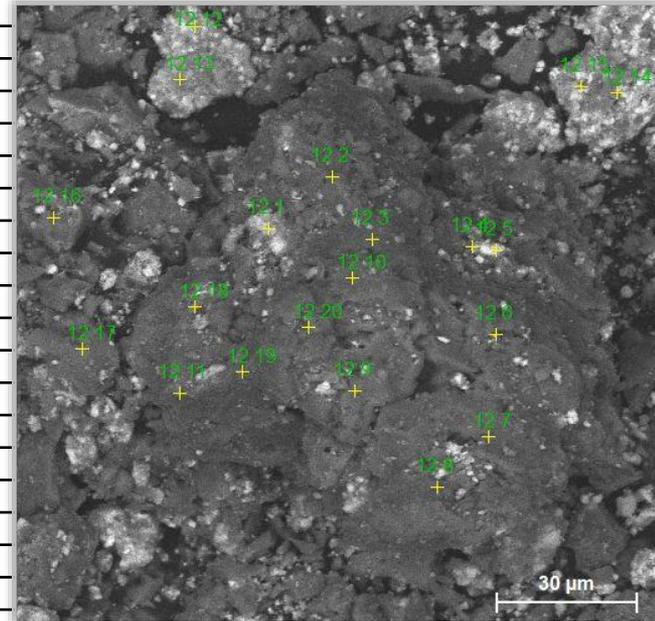


ANÁLISIS EDS

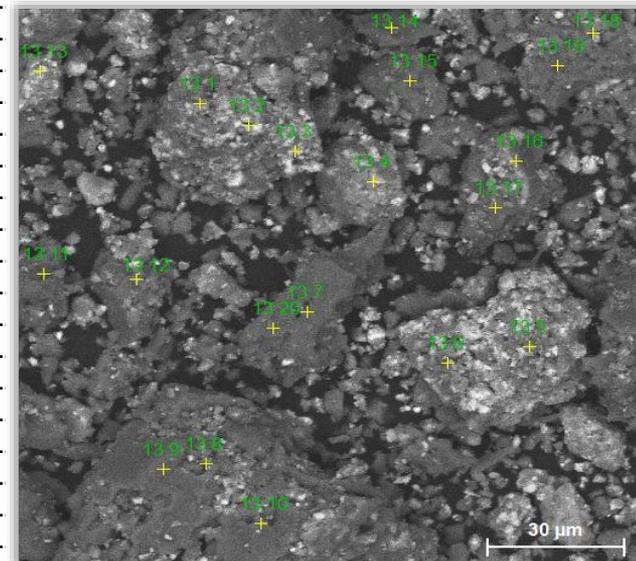
Espectro	Al	Si	Cr	Fe	Ni	Cu	Rh	Pd	Pt
1 18.spx	49,566	40,959	5,587	1,456	0,928	0,499	0,437	0,568	0,000
1 19.spx	44,999	52,232	0,150	1,987	0,204	0,000	0,000	0,229	0,200
1 20.spx	78,727	7,129	4,264	0,595	1,331	0,000	0,480	7,261	0,212
1 15.spx	61,323	7,761	2,450	0,565	23,296	0,000	0,329	4,277	0,000
1 16.spx	77,001	14,019	5,165	1,226	0,735	0,037	0,904	0,563	0,351
1 17.spx	78,161	12,687	5,098	0,761	0,836	0,247	1,599	0,610	0,000
1 9.spx	72,756	17,611	2,336	0,289	3,478	0,000	0,517	3,013	0,000
1 12.spx	69,107	13,496	6,662	1,343	2,531	0,000	0,142	6,491	0,228
1 13.spx	58,146	38,923	0,028	1,858	0,588	0,000	0,077	0,272	0,110
1 14.spx	42,015	55,432	0,462	1,349	0,351	0,000	0,011	0,158	0,223
1 6.spx	43,520	54,260	0,000	1,998	0,122	0,000	0,023	0,077	0,000
1 7.spx	39,710	57,672	0,000	1,598	1,019	0,000	0,002	0,000	0,000
1 8.spx	55,500	34,900	2,443	2,370	3,433	0,233	0,210	0,912	0,000
1 10.spx	54,559	37,460	2,120	1,686	3,264	0,000	0,097	0,708	0,107
1 11.spx	72,137	18,190	2,863	1,244	2,852	0,000	0,008	2,706	0,000
1 4.spx	77,594	9,430	7,063	1,126	3,472	0,394	0,586	0,334	0,000
1 5.spx	43,527	52,751	0,469	1,201	0,900	0,000	0,008	0,557	0,585
1 1.spx	61,755	17,818	8,035	1,537	1,076	0,145	0,523	9,111	0,000
1 3.spx	75,648	12,895	4,392	0,583	1,958	0,151	1,638	2,391	0,343
Promedio	60,829	29,243	3,136	1,304	2,757	0,090	0,400	2,118	0,124



Espectro	Al	Si	Cr	Fe	Ni	Cu	Rh	Pd	Pt
12 1.spx	59,160	27,259	10,121	2,324	0,434	0,000	0,327	0,026	0,349
12 10.spx	39,383	58,580	0,000	1,599	0,240	0,036	0,000	0,161	0,000
12 11.spx	40,935	57,199	0,342	1,087	0,234	0,035	0,000	0,000	0,167
12 12.spx	55,809	24,959	13,927	3,566	0,926	0,519	0,000	0,000	0,294
12 13.spx	66,466	19,044	8,719	4,900	0,405	0,109	0,101	0,132	0,124
12 14.spx	75,773	18,013	4,913	1,164	0,118	0,019	0,000	0,000	0,000
12 15.spx	77,586	14,668	6,241	0,975	0,298	0,000	0,000	0,000	0,233
12 16.spx	40,125	58,175	0,350	1,213	0,103	0,000	0,034	0,000	0,000
12 17.spx	39,761	58,017	0,103	1,454	0,227	0,135	0,000	0,038	0,265
12 18.spx	42,431	54,501	1,003	1,759	0,271	0,000	0,035	0,000	0,000
12 19.spx	41,883	54,972	0,745	1,962	0,259	0,000	0,000	0,000	0,178
12 2.spx	39,217	58,684	0,000	1,602	0,288	0,000	0,004	0,000	0,204
12 20.spx	39,926	57,479	0,158	1,943	0,000	0,000	0,189	0,017	0,287
12 3.spx	38,991	58,099	0,056	2,079	0,325	0,000	0,084	0,148	0,219
12 4.spx	52,696	39,303	3,795	2,994	0,492	0,225	0,165	0,266	0,064
12 5.spx	54,780	32,357	9,895	2,427	0,469	0,000	0,070	0,000	0,000
12 6.spx	39,979	57,333	0,315	1,783	0,325	0,264	0,000	0,000	0,000
12 7.spx	35,674	62,422	0,000	1,487	0,327	0,010	0,000	0,065	0,014
12 8.spx	39,899	57,630	0,389	1,465	0,240	0,008	0,047	0,000	0,321
12 9.spx	39,815	58,336	0,036	1,458	0,235	0,003	0,000	0,117	0,000
Promedio	48,015	46,352	3,055	1,962	0,311	0,068	0,053	0,049	0,136



Espectro	C	Na	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca
13 1.spx	11,824	0,560	0,737	24,107	1,709	3,574	0,070	0,008	0,051
13 10.spx	4,743	0,020	6,979	15,464	15,320	0,330	0,038	0,025	0,055
13 11.spx	7,448	0,617	6,701	14,230	11,074	0,479	0,051	0,020	0,014
13 12.spx	5,318	0,438	7,556	18,471	13,651	0,855	0,037	0,014	0,000
13 13.spx	15,768	0,000	2,131	21,910	4,677	3,285	0,124	0,007	0,009
13 14.spx	15,068	0,504	5,998	13,209	8,475	0,301	0,031	0,027	0,019
13 15.spx	5,650	0,526	7,001	17,571	12,555	0,570	0,028	0,003	0,018
13 16.spx	7,014	0,365	5,939	17,135	12,805	1,898	0,034	0,016	0,156
13 17.spx	5,725	0,310	7,236	18,619	14,200	0,517	0,053	0,038	0,026
13 18.spx	16,483	0,020	4,204	21,523	9,048	2,058	0,010	0,043	0,000
13 19.spx	5,723	0,368	7,702	17,429	13,795	0,416	0,009	0,029	0,062
13 2.spx	7,416	0,532	0,688	12,303	2,024	15,819	0,162	0,000	0,495
13 20.spx	3,474	0,277	8,520	18,646	16,336	0,111	0,028	0,022	0,014
13 3.spx	7,888	0,215	0,925	15,504	1,885	14,930	0,133	0,057	0,576
13 4.spx	9,495	0,712	0,888	13,846	3,000	11,496	0,099	0,017	0,225
13 5.spx	6,000	0,446	3,162	22,595	6,027	3,872	0,019	0,001	0,120
13 6.spx	6,166	0,335	0,528	33,737	0,957	2,427	0,002	0,026	0,112
13 7.spx	6,214	0,264	8,122	18,661	15,190	0,217	0,030	0,048	0,000
13 8.spx	10,850	0,594	5,233	14,219	9,206	3,196	0,023	0,004	0,007
13 9.spx	2,500	0,023	8,187	19,690	19,026	0,031	0,000	0,049	0,136
Promedio	8,038	0,356	4,922	18,443	9,548	3,319	0,049	0,023	0,105

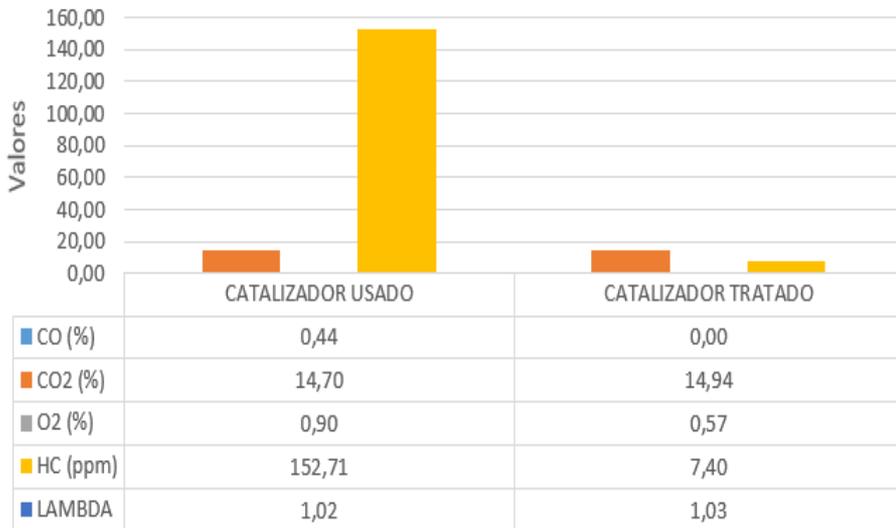


PRUEBAS ESTÁTICAS

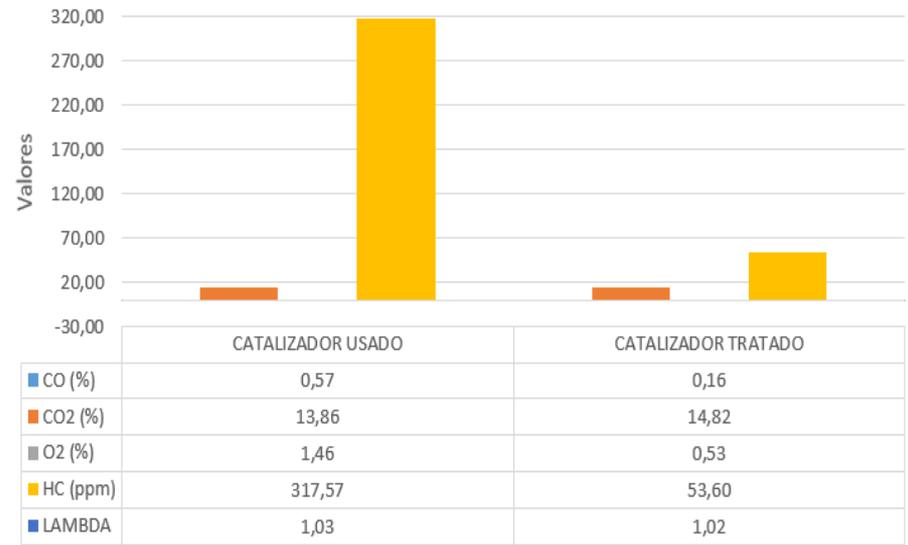


PRUEBAS CONTINUAS

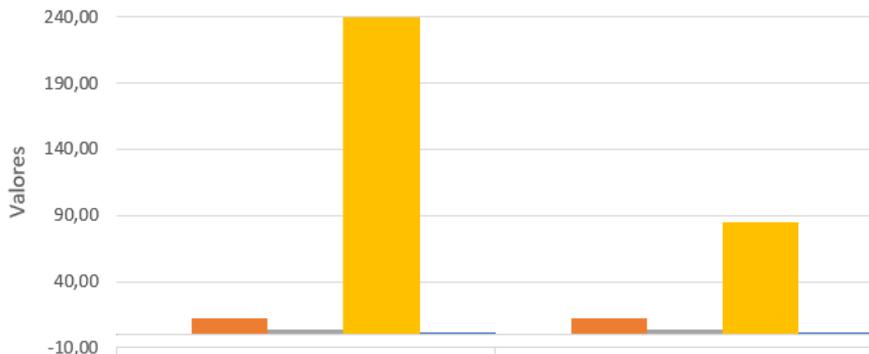
PRUEBA CONTINUA - 900 RPM



PRUEBA CONTINUA - 1500 RPM

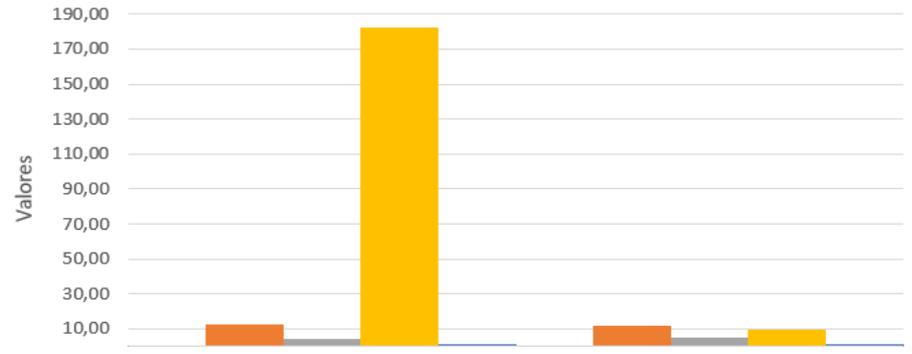


PRUEBA CONTINUA - 2000 RPM



	CATALIZADOR USADO	CATALIZADOR TRATADO
CO (%)	0,42	0,21
CO2 (%)	12,64	12,68
O2 (%)	3,83	3,42
HC (ppm)	239,86	85,20
LAMBDA	1,19	1,18

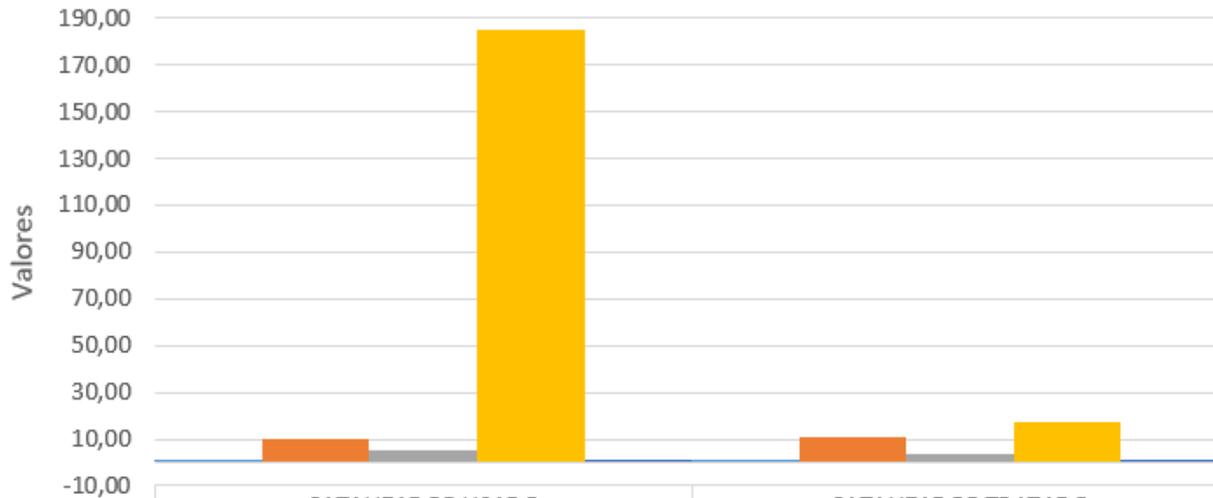
PRUEBA CONTINUA - 2500 RPM



	CATALIZADOR USADO	CATALIZADOR TRATADO
CO (%)	0,41	0,01
CO2 (%)	12,26	12,00
O2 (%)	4,09	4,79
HC (ppm)	182,14	9,64
LAMBDA	1,25	1,31



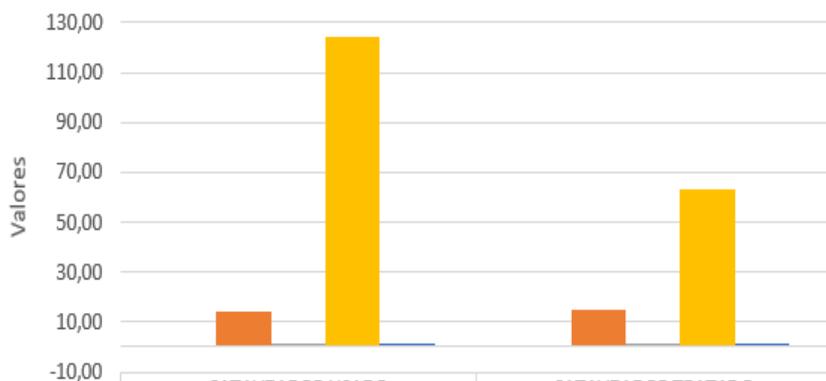
PRUEBA CONTINUA - 3000 RPM



	CATALIZADOR USADO	CATALIZADOR TRATADO
■ CO (%)	0,59	0,17
■ CO2 (%)	9,84	11,20
■ O2 (%)	5,43	3,90
■ HC (ppm)	185,43	17,20
■ LAMBDA	1,37	1,28

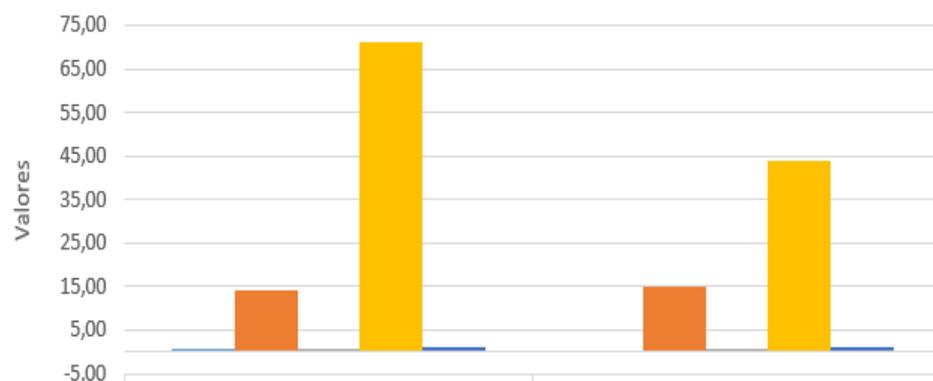


TEST OFICIAL AL MÍNIMO - DEPUÉS DEL TRATAMIENTO 0 Km



	CATALIZADOR USADO	CATALIZADOR TRATADO
CO (%)	0,45	0,12
CO2 (%)	13,90	14,60
O2 (%)	1,43	1,40
HC (ppm)	124,00	63,33
LAMBDA	1,05	1,06

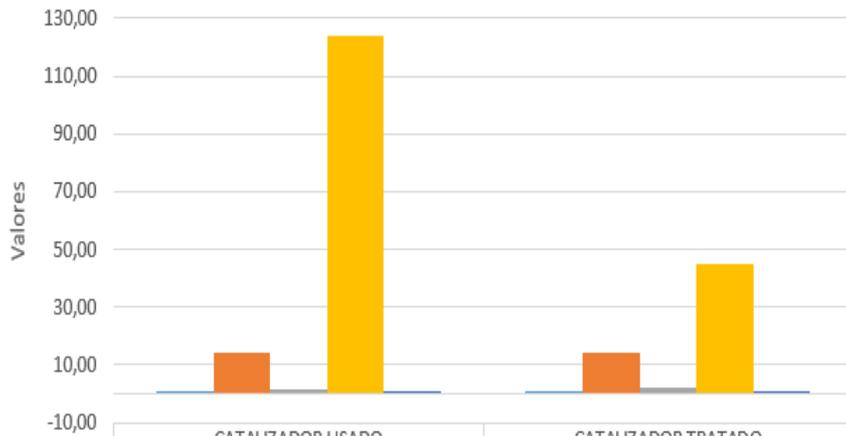
TEST OFICIAL EN ACELERACIÓN - DESPUÉS DEL TRATAMIENTO 0 Km



	CATALIZADOR USADO	CATALIZADOR TRATADO
CO (%)	0,67	0,50
CO2 (%)	14,10	14,80
O2 (%)	0,87	0,73
HC (ppm)	71,00	43,67
LAMBDA	1,02	1,02

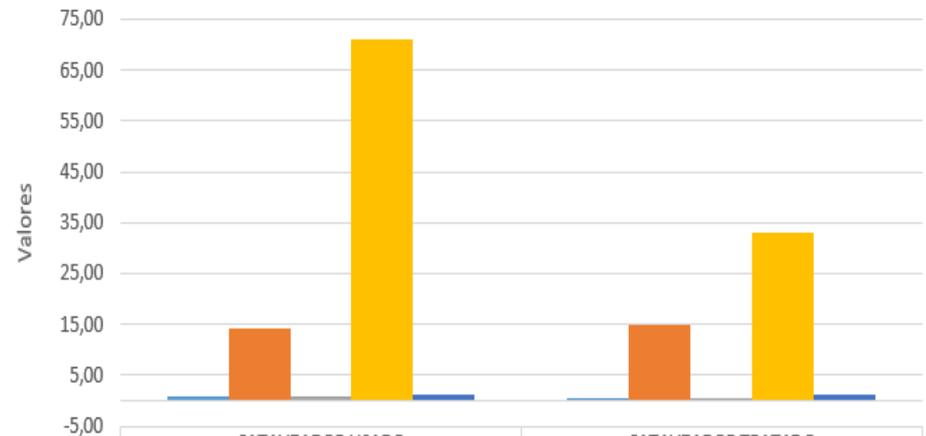


TEST OFICIAL AL MÍNIMO - DEPUÉS DE 1000 Km



	CATALIZADOR USADO	CATALIZADOR TRATADO
CO (%)	0,45	0,10
CO2 (%)	13,90	13,93
O2 (%)	1,43	2,16
HC (ppm)	124,00	44,67
LAMBDA	1,05	1,10

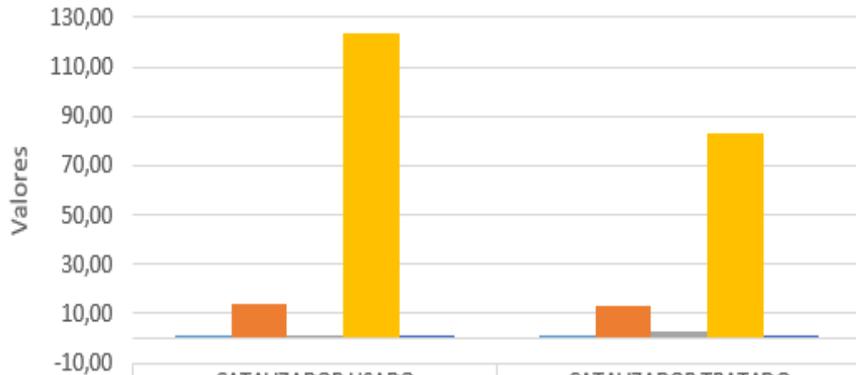
TEST OFICIAL EN ACELERACIÓN - DEPUÉS DE 1000 Km



	CATALIZADOR USADO	CATALIZADOR TRATADO
CO (%)	0,67	0,33
CO2 (%)	14,10	14,83
O2 (%)	0,87	0,65
HC (ppm)	71,00	33,00
LAMBDA	1,02	1,02

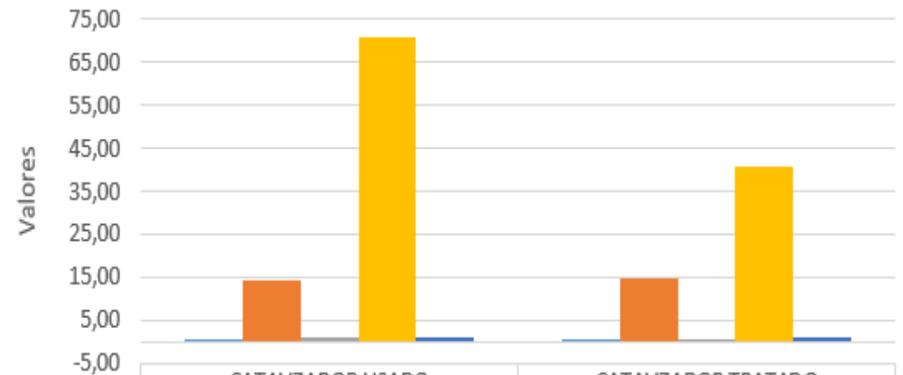


TEST OFICIAL AL MÍNIMO - DEPUÉS DE 2000 Km



	CATALIZADOR USADO	CATALIZADOR TRATADO
CO (%)	0,45	0,32
CO2 (%)	13,90	13,20
O2 (%)	1,43	2,54
HC (ppm)	124,00	83,33
LAMBDA	1,05	1,12

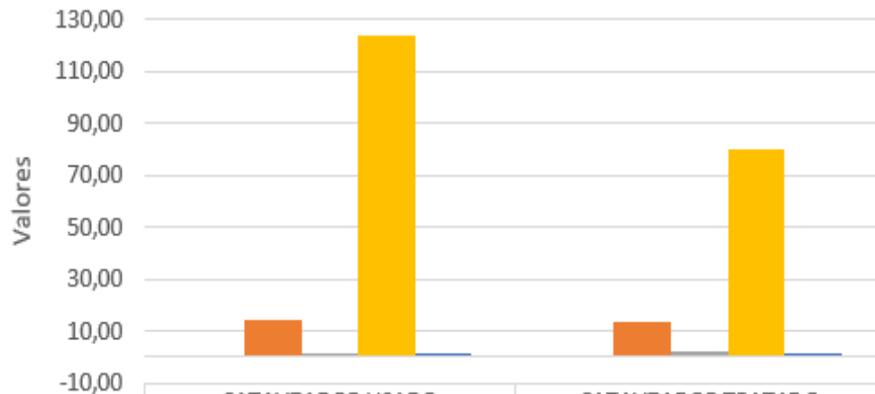
TEST OFICIAL EN ACCELERACIÓN - DEPUÉS DE 2000 Km



	CATALIZADOR USADO	CATALIZADOR TRATADO
CO (%)	0,67	0,34
CO2 (%)	14,10	14,47
O2 (%)	0,87	0,66
HC (ppm)	71,00	40,67
LAMBDA	1,02	1,02

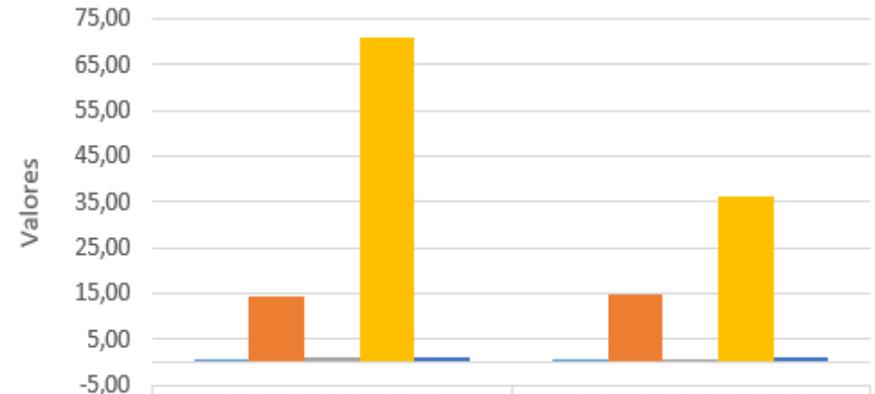


TEST OFICIAL AL MÍNIMO - DEPUÉS DE 3000 Km



	CATALIZADOR USADO	CATALIZADOR TRATADO
CO (%)	0,45	0,25
CO2 (%)	13,90	13,37
O2 (%)	1,43	2,31
HC (ppm)	124,00	79,67
LAMBDA	1,05	1,11

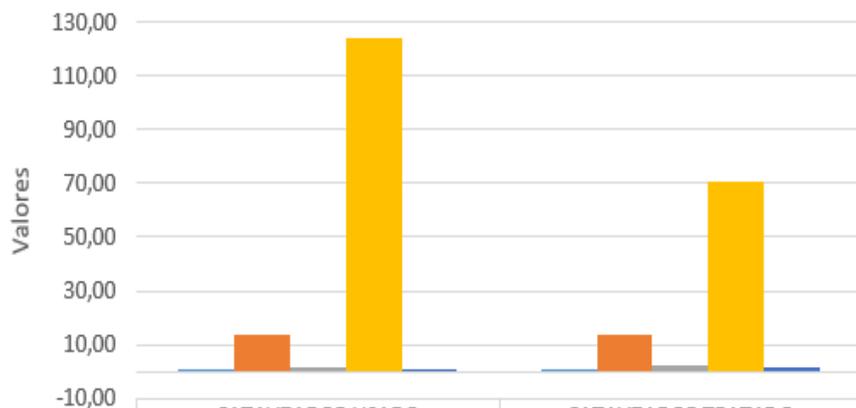
TEST OFICIAL EN ACELERACIÓN -DESPUÉS DE 3000 Km



	CATALIZADOR USADO	CATALIZADOR TRATADO
CO (%)	0,67	0,29
CO2 (%)	14,10	14,53
O2 (%)	0,87	0,61
HC (ppm)	71,00	36,00
LAMBDA	1,02	1,02

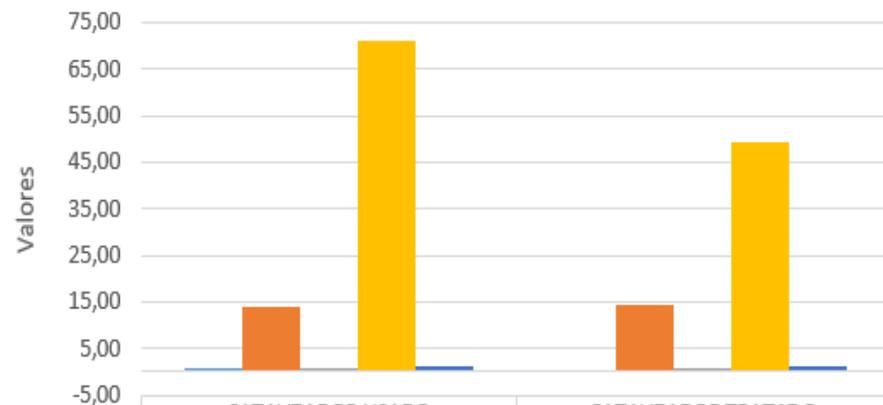


TEST OFICIAL AL MÍNIMO - DEPUÉS DE 4000 Km



	CATALIZADOR USADO	CATALIZADOR TRATADO
CO (%)	0,45	0,24
CO2 (%)	13,90	13,30
O2 (%)	1,43	2,44
HC (ppm)	124,00	71,00
LAMBDA	1,05	1,12

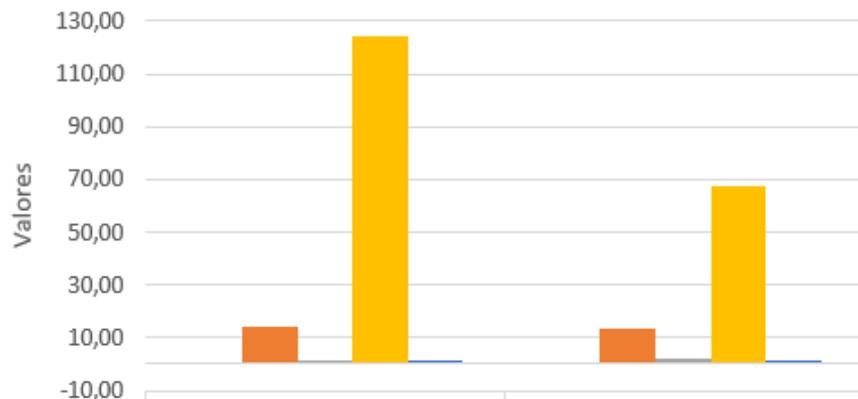
TEST OFICIAL EN ACELERACIÓN - DESPUÉS DE 4000 Km



	CATALIZADOR USADO	CATALIZADOR TRATADO
CO (%)	0,67	0,54
CO2 (%)	14,10	14,17
O2 (%)	0,87	0,91
HC (ppm)	71,00	49,33
LAMBDA	1,02	1,03

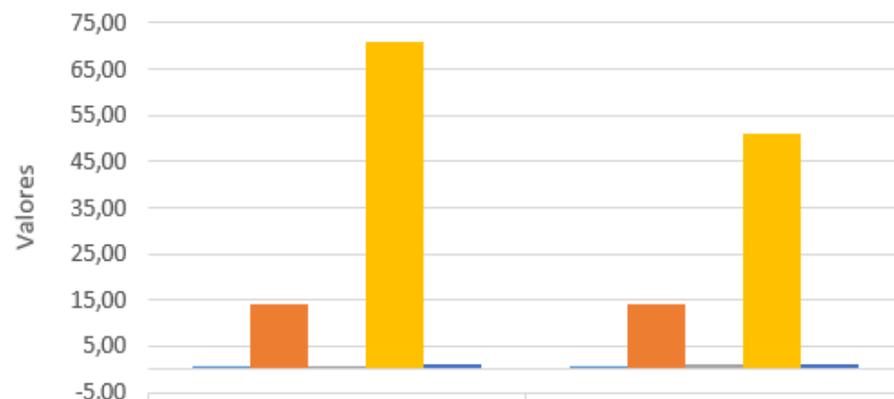


TEST OFICIAL AL MÍNIMO - DEPUÉS DE 5000 Km



	CATALIZADOR USADO	CATALIZADOR TRATADO
CO (%)	0,45	0,18
CO2 (%)	13,90	13,47
O2 (%)	1,43	2,25
HC (ppm)	124,00	67,33
LAMBDA	1,05	1,07

TEST OFICIAL EN ACCELERACIÓN - DESPUÉS DE 5000 Km



	CATALIZADOR USADO	CATALIZADOR TRATADO
CO (%)	0,67	0,56
CO2 (%)	14,10	14,17
O2 (%)	0,87	0,93
HC (ppm)	71,00	51,00
LAMBDA	1,02	1,03

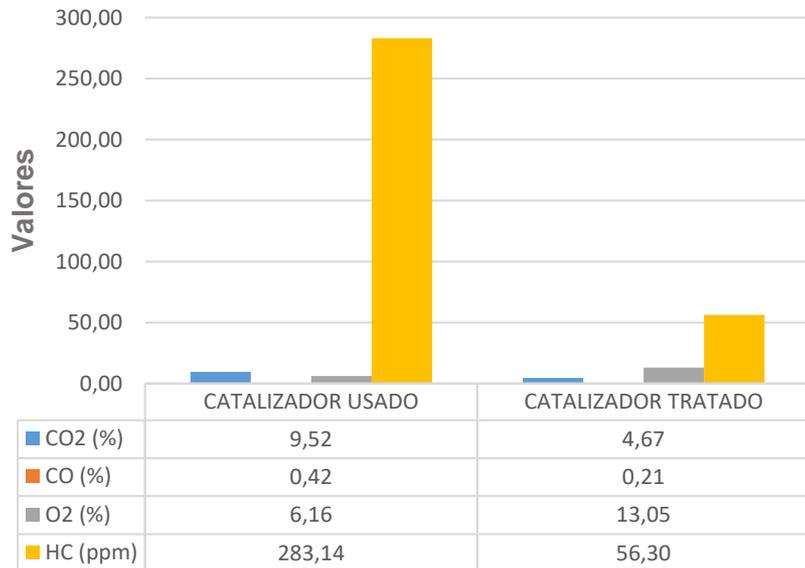


PRUEBAS DINÁMICAS

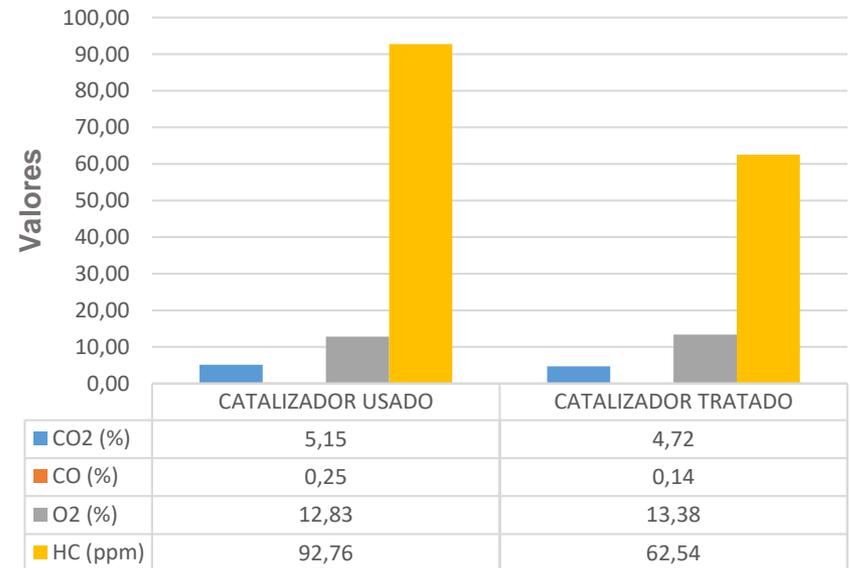


RESULTADOS DE PRUEBAS DINÁMICAS EN ZONA URBANA

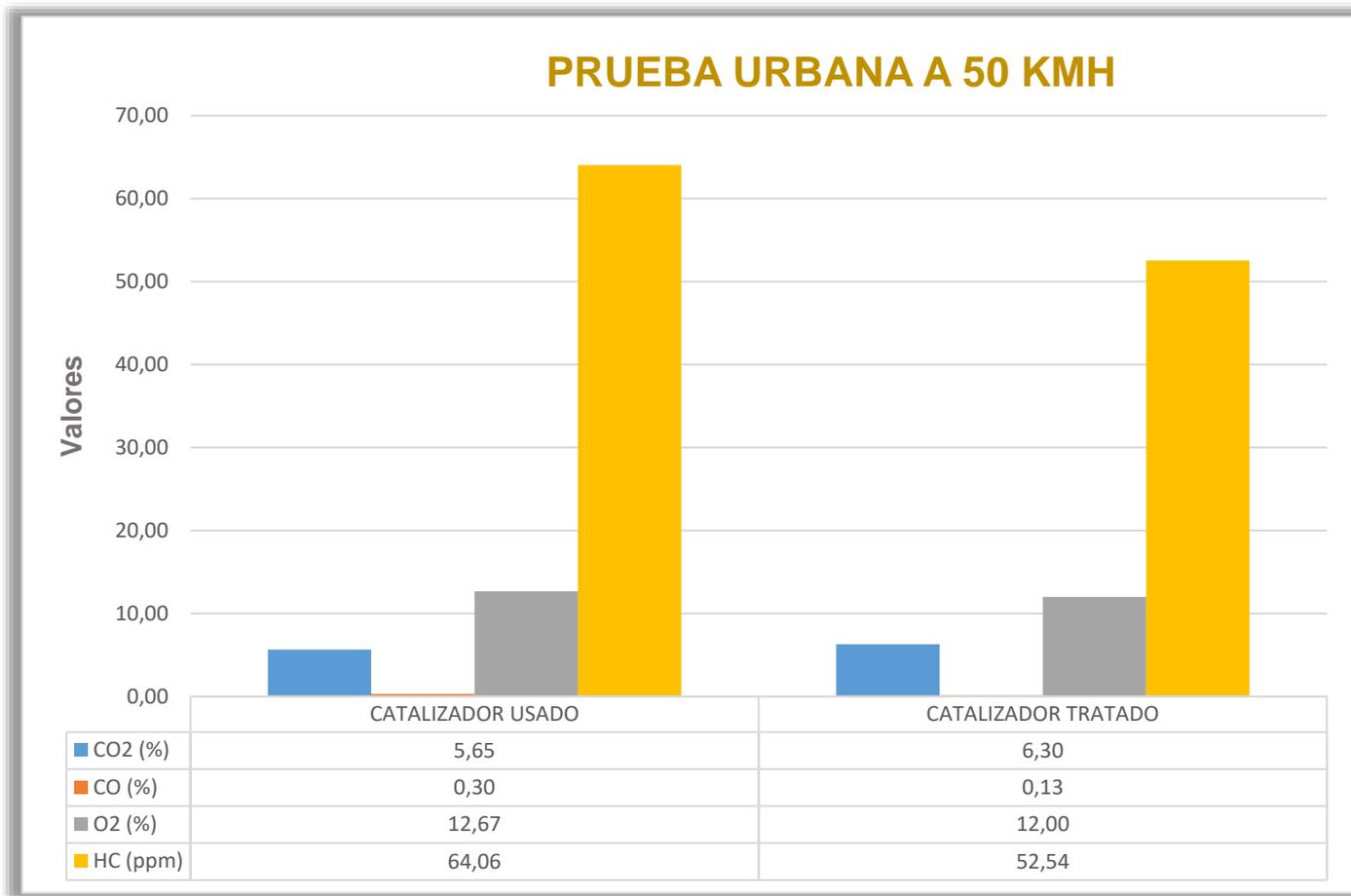
PRUEBA URBANA A 33.6 KMH



PRUEBA URBANA A 46.5 KMH

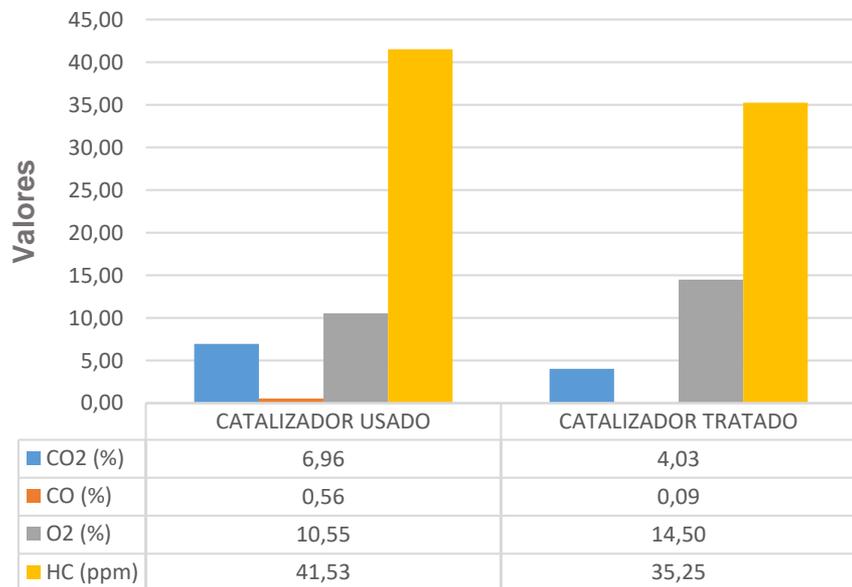


RESULTADOS DE PRUEBAS DINÁMICAS EN ZONA URBANA

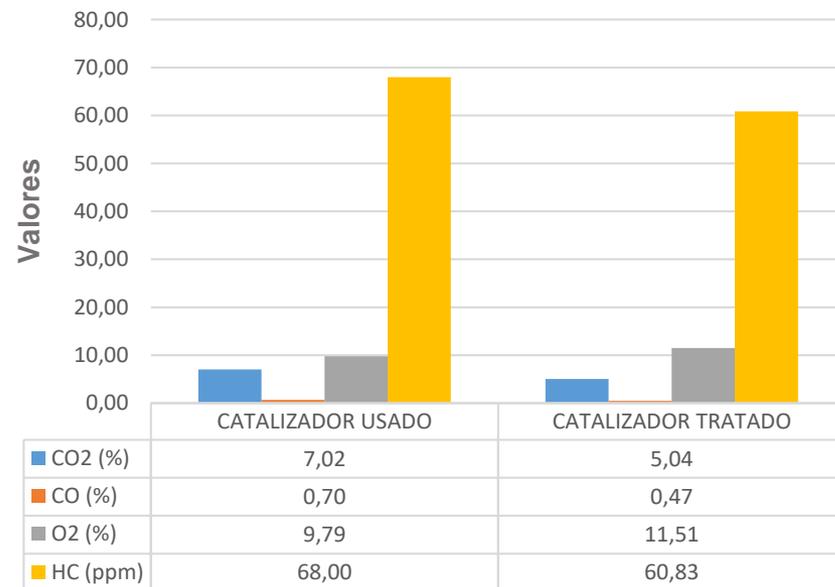


RESULTADOS DE PRUEBAS DINÁMICAS EN ZONA EXTRA URBANA

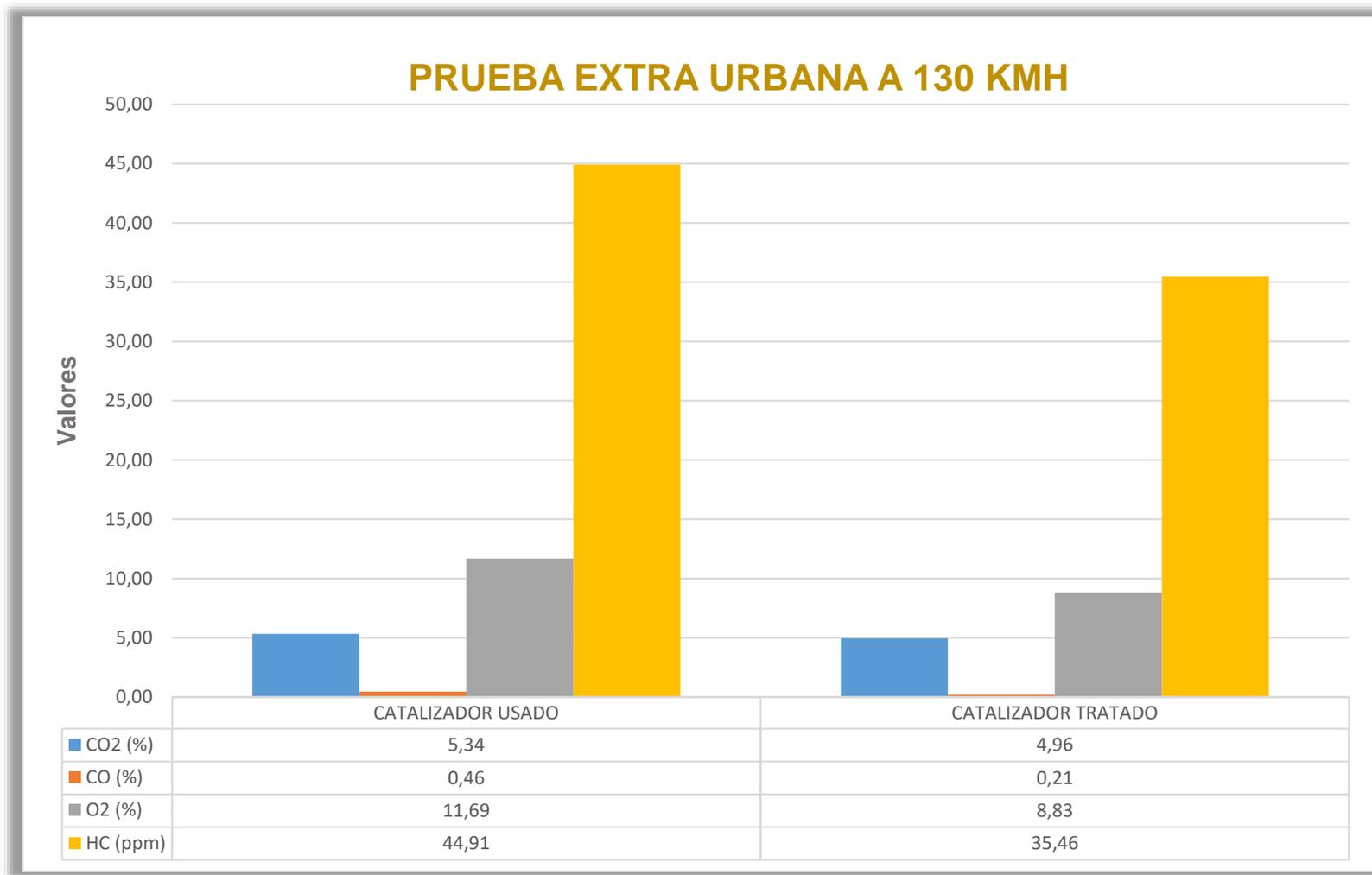
PRUEBA EXTRA URBANA A 100 KM/H



PRUEBA EXTRA URBANA A 120 KM/H



RESULTADOS DE PRUEBAS DINÁMICAS EN ZONA EXTRA URBANA



CONCLUSIONES

- Se fundamentó teóricamente la reutilización de los convertidores catalíticos automotrices a través de fuentes bibliográficas confiables, mismos que pueden ser sometidos a tratamientos con equipos de limpieza y así poder recuperar la mayor parte de los metales nobles que conforman al monolito del convertidor catalítico.
- El diseño del equipo de tratamiento y recuperación de convertidores catalíticos se sustentó a través de herramientas CAD y sus simulaciones de las partes involucradas, siendo estas la parte mecánica, neumática, eléctrica y electrónica, permitiendo obtener resultados como factor de seguridad, desplazamientos, temperatura, presión; de la misma forma se realizó la simulación del comportamiento de los gases vectores que convergen en el interior de los reactores con los catalizadores y muestras en el proceso de recuperación.
- Se patentizó la reutilización de convertidores catalíticos a través de procesos de oxidación – reducción de los metales presentes en el monolito, por medio de la inserción de un flujo de gases vectores en condiciones de tiempo y temperatura programada, verificando su eficacia a través de pruebas de emisiones estáticas y dinámicas, con objeto de evidenciar que el tratamiento efectuado en los convertidores catalíticos haya sido el correcto.



- El análisis termográfico ha permitido realizar un control de la eficiencia de los convertidores catalíticos recuperados a través del proceso redox e inyección de gases inertes.
- El análisis de presión desarrollado en la distribución de cañerías con ayuda del diseño asistido por computador, permitió establecer el flujo de los gases vectores de nitrógeno y oxígeno a los cuales están sometidos los mismos, evidenciando una presión de $206\,319\text{ Pa}$ (29.93 PSI) en línea de alta presión y en línea de baja una presión de $112\,991\text{ Pa}$ (16.39 PSI), puesto que la participación de los gases vectores en el tratamiento son indispensables debido a que mejoran la eficiencia de la redistribución de cada uno de los metales presentes en el monolito del catalizador.
- Se estableció un proceso de recuperación de convertidores catalíticos, el cual se encuentra expresado en diagramas de flujo, considerando parámetros importantes a la hora del tratamiento, mismos que se encuentran descritos en el trabajo de investigación, entre los parámetros se encuentran; temperatura de tratamiento establecida a 300°C , 450°C y 600°C , entre el caudal regulado de los gases vectores de oxígeno y nitrógeno se define valores de $100\text{ cm}^3/\text{min}$, $150\text{ cm}^3/\text{min}$, $60\text{ cm}^3/\text{min}$, finalmente los tiempos de recuperación están definidos en valores de 60 min , 45 min , 36 min , 30 min y 22 min ., disminuye el porcentaje de emisión del Oxígeno alcanzando un 0.93%.



- Se empleó la termografía en el proceso de tratamiento y recuperación de convertidores catalíticos, el equipo termográfico permitió realizar un control del comportamiento del equipo de recuperación a la hora del proceso, ayudando a controlar las temperaturas presentes al recuperar un convertidor catalítico, las temperaturas involucradas fueron; temperatura de entrada, temperatura de salida, temperatura del monolito y temperatura de la resistencia las cuales son comparadas a través de las imágenes térmicas y los paneles de programación y control de temperaturas, con el fin de obtener un seguimiento adecuado del proceso de recuperación de los convertidores catalíticos.
- Se obtuvieron trece muestras de monolito de las cuales doce fueron sometidas a las condiciones de tratamiento, posteriormente fueron enviadas al laboratorio para obtener resultados SEM (Microscopía electrónica de barrido) Y EDS (Espectroscopia de rayos X) cuyos resultados están descritos en el trabajo de investigación, en SEM se obtuvo en micras un mejor campo de visualización de los elementos que se encuentran en el monolito como son Pt, Pd, Rh, respecto a EDS se analiza el espectro de la muestra en porcentaje de masa, comparando elementos como; Al, Si, Cr, Fe, Ni, Cu, Rh, Pd y Pt.



- En pruebas estáticas en el modo de pruebas continuas a 1500 rpm, comparando los valores de monóxido de carbono se alcanzó una disminución del 71.93% dado que en el catalizador usado se presenta un valor de 0.57 % de CO descendiendo a 0.16% de CO en el catalizador tratado, respecto a los hidrocarburos se obtuvo una disminución del 83.12% pasando de 317.57ppm en el catalizador usado a 53.60 ppm en el catalizador tratado, finalmente lambda presente una disminución de 1.03 en el convertidor catalítico usado a 1.02 en el convertidor catalítico tratado.
- En pruebas dinámicas, en la prueba realizada en zona urbana y siguiendo el protocolo de pruebas NEDC de emisiones de gases vehiculares, al realizar la prueba a una velocidad de 33.6 Km/h y comparando los resultados obtenidos de la prueba con la utilización del catalizador usado con el catalizador tratado; se obtuvo una disminución del 9,52% de emisiones de CO₂ entre ambos catalizadores, de igual forma con las emisiones de CO se obtuvo una disminución de las emisiones del 4,67%, respecto a las emisiones de oxígeno en el catalizador usado se obtuvo un valor de 6,16% y en el catalizador tratado un valor de emisión de 13,05% presentando un aumento de las emisiones entre ambos catalizadores de 6,89% y finalmente para los hidrocarburos se obtuvo una reducción considerable de las emisiones de 226,84 ppm entre los dos catalizadores utilizados en el desarrollo de la prueba.



RECOMENDACIONES

- Se sugiere continuar con el estudio de la recuperación de convertidores catalíticos, empleando nuevos avances tecnológicos, manejando otros gases vectores que permitan obtener una mejor eficiencia en el proceso de tratamiento, y corroborando la recuperación con ayuda de equipos que permiten medir emisiones.
- Se aconseja emplear herramientas CAD adecuadas para el diseño del equipo de recuperación de convertidores catalíticos, adicionalmente tomar en consideración los parámetros respectivos que se involucran con el diseño y simulaciones de la parte mecánica, neumática, eléctrica y electrónica.
- Para establecer el inicio de las pruebas en condiciones estáticas y dinámicas, se sugiere la calibración respectiva de cada uno de los analizadores de emisiones de gases como lo son el AGS-688 y el Kane AUTOPLUS 4-2, mismos que permitan obtener datos precisos en cada una de las pruebas antes mencionadas y que a su vez se resguarda el tiempo de vida útil de cada uno de estos equipos.



- Se incita a realizar el tratamiento de los convertidores catalíticos tomando en consideración los parámetros mencionados en el trabajo de investigación los cuales son; tiempo de tratamiento, temperatura, y caudal regulado, verificando el buen funcionamiento del equipo previo a iniciar el proceso de tratamiento.
- Cuando se pretende caracterizar materiales del monolito, es importante que las muestras tratadas en el equipo sean almacenadas inmediatamente en frascos de vidrio o tubos de ensayo al finalizar el tratamiento, con el fin de evitar contaminación.
- Validar el proceso de tratamiento de los convertidores catalíticos empleando equipos para el análisis de emisiones como el AGS 688, lo cual permitirá determinar el nivel de recuperación de los catalizadores en función de las condiciones iniciales de los mismos.



- Promover el uso respectivo del equipo de tratamiento de convertidores catalíticos, realizando una revisión previa del equipo con objeto de verificar si el mismo se encuentra en un estado adecuado de trabajo.
- Cuando se realizan las pruebas estáticas es indispensable realizar un chequeo previo al equipo, realizar una prueba de estanqueidad con el fin de evitar inconvenientes en el proceso de prueba o resultados erróneos.
- Avivar a cada uno de los estudiantes a realizar investigaciones futuras, mismas que impulsen al cuidado del medio ambiente, con el fin de reducir la contaminación ambiental emitidas por los gases vehiculares.



“Debes luchar por ser mejor, pero jamás debes pensar que ya lo has logrado”

Juan Manuel Fangio

