



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE**

**DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA**

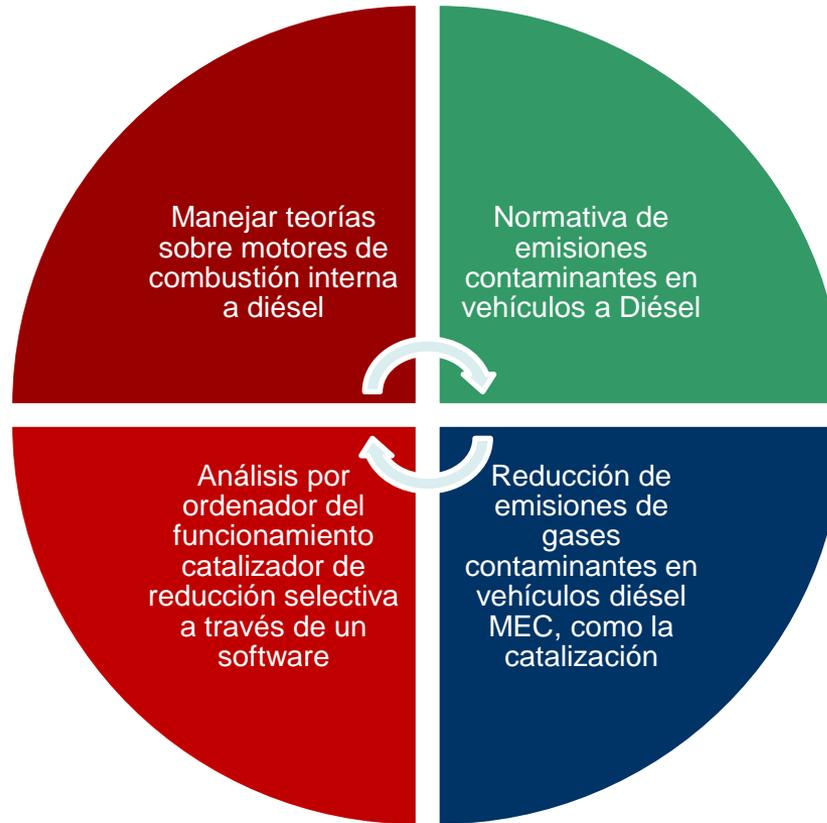
**TEMA: “ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE GASES  
CONTAMINANTES DE UN MOTOR DIÉSEL IMPLEMENTADO  
UN SISTEMA DE REDUCCIÓN CATALÍTICA SELECTIVA,  
UTILIZANDO UREA PARA LA CONVERSIÓN DE ÓXIDOS DE  
NITRÓGENO (NOX) EN AGUA Y NITRÓGENO”**

**AUTORES: GUALOTUÑA PINARGO, BRYAN RAMIRO  
TIPAN QUINGA, DAVID RUBEN**

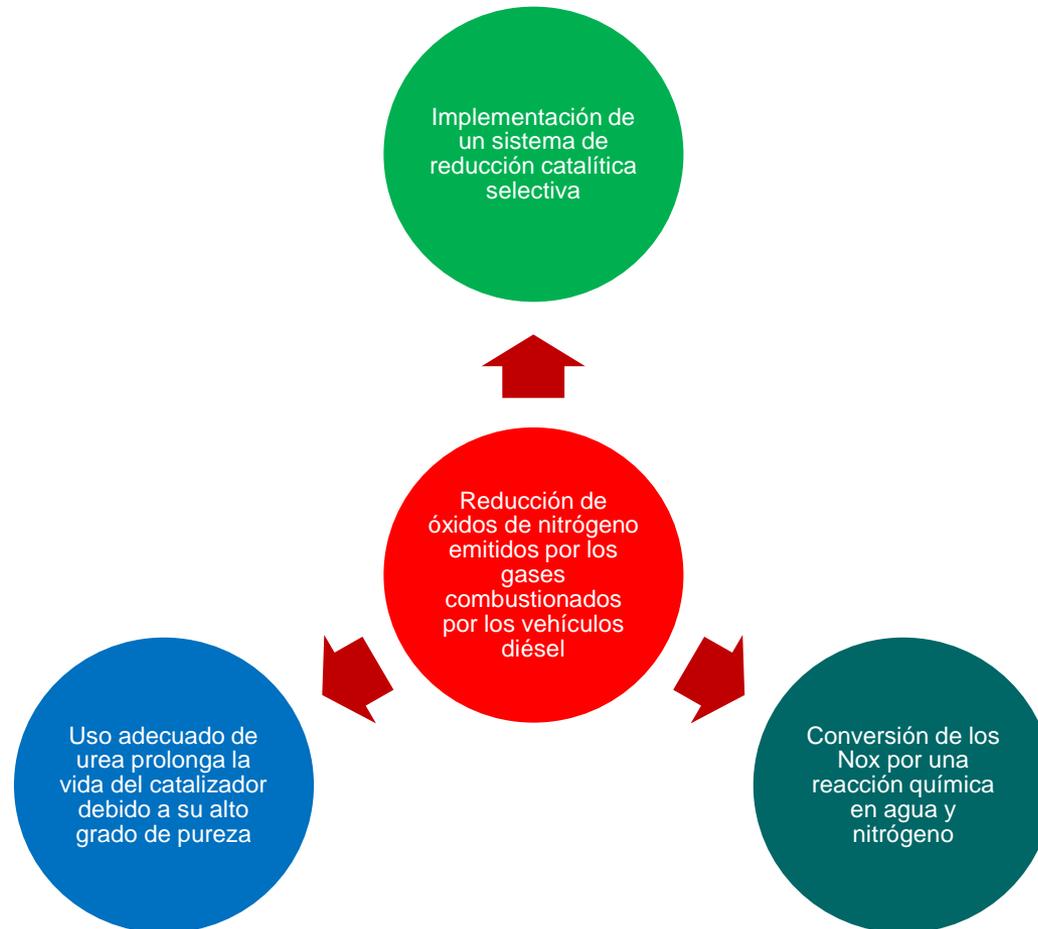
**DIRECTOR: ING. MENA NAVARRETE, LUIS ANTONIO**



# Antecedentes



# Planteamiento del Problema



# OBJETIVOS

## Objetivo General

- Analizar las emisiones de gases contaminantes de un motor de combustión interna Diésel mediante la implementación de un sistema de reducción catalítica selectiva utilizando urea para la conversión de óxido de nitrógeno (NOx) en agua y nitrógeno



# Objetivos Específicos

- Realizar búsqueda teórica en fuente bibliográfica y base digitales confiables que permitan sustentar el tema del proyecto de investigación.
- Simular y analizar el modelo de sistema de reducción catalítica mediante el cálculo y simulación en software SOLIDWORKS.
- Implementar el sistema de reducción catalítica en el motor de combustión interna Diésel.
- Realizar las pruebas de análisis de las emisiones de gases contaminantes con y sin el sistema de reducción catalítica implementado.



# METAS

- Diseñar un sistema eficiente que se acople a las necesidades del motor diésel
- Analizar la emisión de gases contaminantes implementado el sistema de reducción catalítica selectiva utilizando urea para la conversión de óxido de nitrógeno (NOx) en agua y nitrógeno



# Sistema de Reducción Catalítica Selectiva

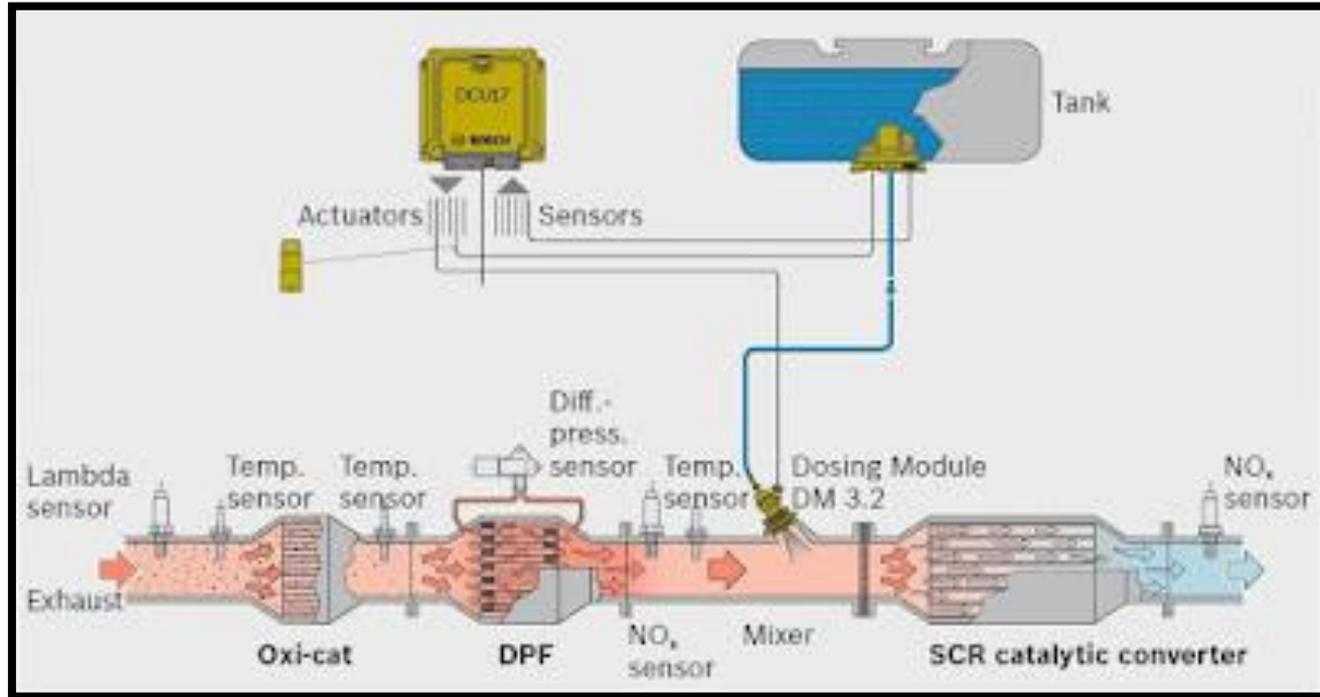


Figura 1 Sistema SCR

# Normativa de emisiones

## NTE INEN 2207:2002

- Límite máximo de emisiones para fuentes móviles con motor diésel

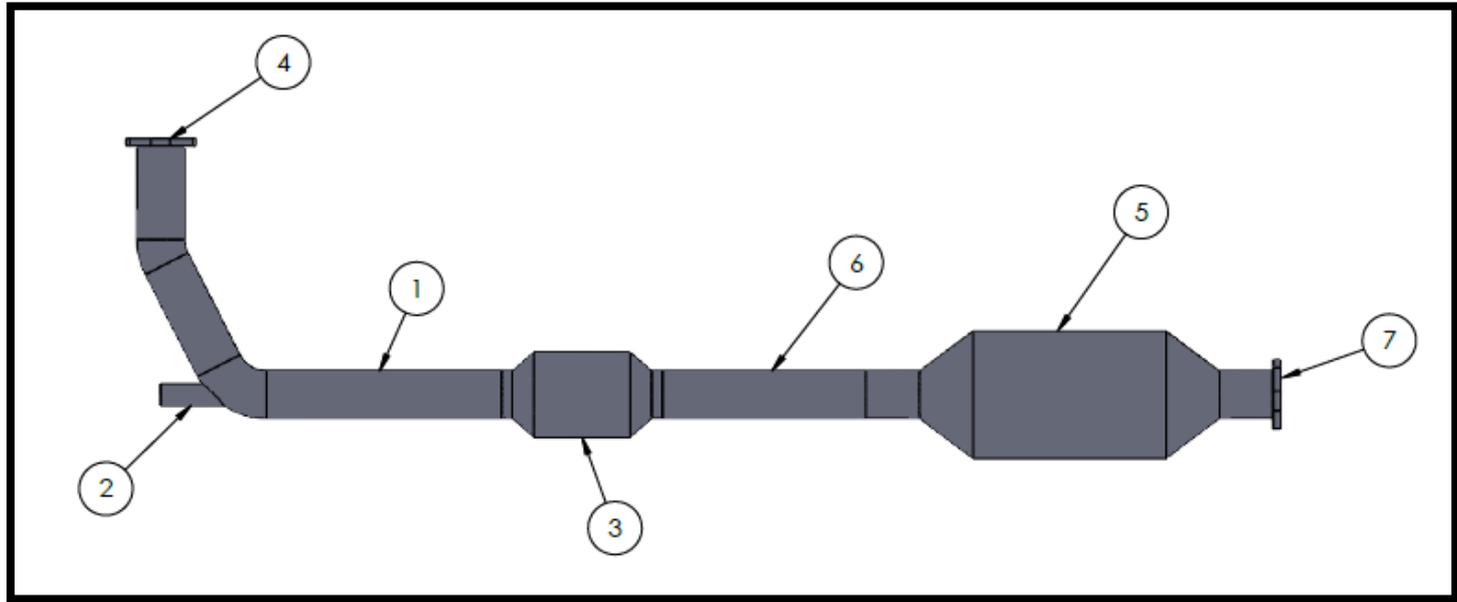
CO	HC	NOx	Partículas	Ciclo de prueba
g/km	g/km	g/km	g/km	
2.72	0.97	0.97	0.14	ECE -15 + EUDC

- Límite máximo de opacidad de emisiones para motores diésel

Año modelo	% Opacidad
2000 y posteriores	50
1999 y anteriores	60



# Diseño Geométrico

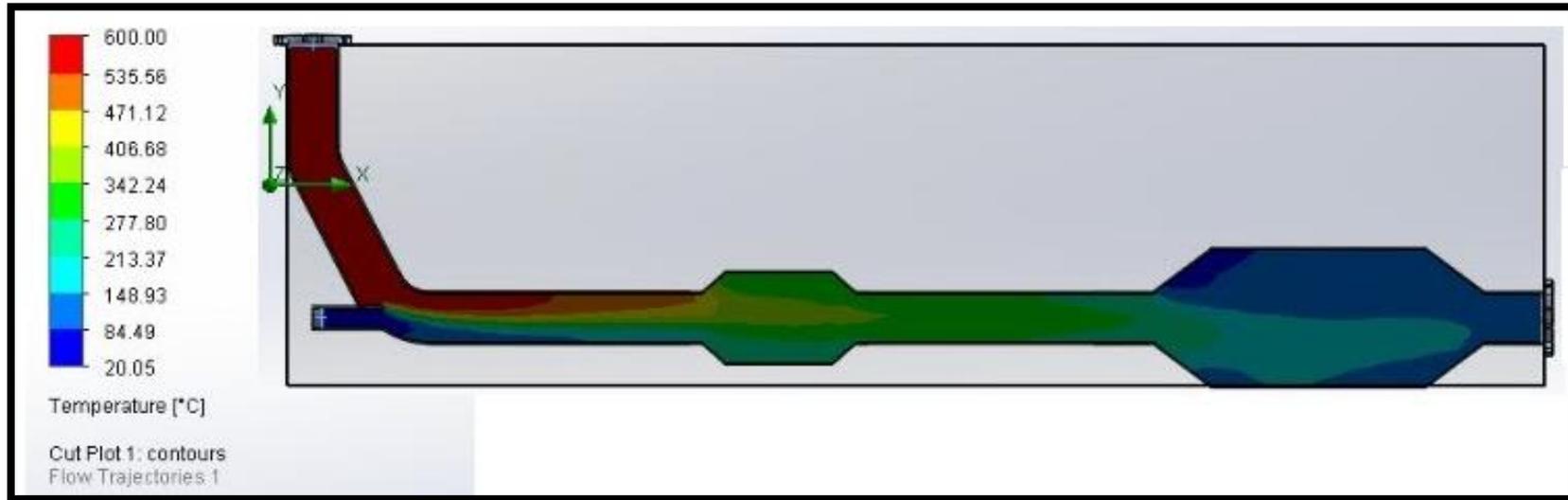


*Figura 2 Elementos del sistema SCR*

1. Tubo delantero
2. Inyector
3. Flexible
4. Brida delantero

5. Catalizador
6. Tubo
7. Brida posterior

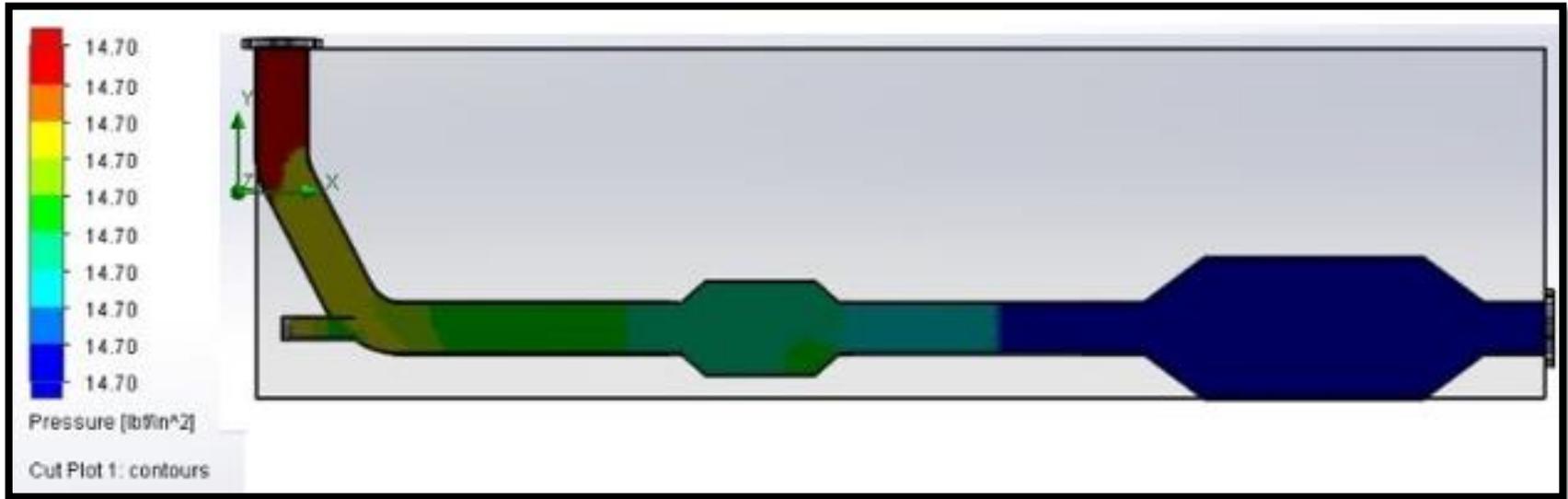
# Simulación de Temperatura de gases



*Figura 3 Simulación de Temperatura en el sistema SCR*



# Simulación de Presión de gases



*Figura 4 Simulación de Presión en el sistema SCR*

# Diseño Mecánico

- Selección de tubo para el escape

Tipo	Diámetro (pulg)	Espesor (mm)	Peso (kg/m)
Tubo de acero	1 ¾"	1.5	1.59

- Selección de tubo para acople del inyector

Tipo	Diámetro (pulg)	Espesor (mm)	Peso (kg/m)
Tubo de acero	1 ½"	1.5	1.35



# Sistema de Escape



*Figura 5 Sistema de Escape Original*



*Figura 6 Sistema de Escape con sistema SCR*



# Diseño Hidráulico

Este tipo de inyector requiere una presión de trabajo de 45 – 70 psi para pulverizar la cantidad de AdBlue en el tubo de escape para lograr la reacción química.



*Figura 7 Inyector de Urea*

# Bomba de alimentación



*Figura 8 Bomba de alimentación del sistema SCR*

- Selección de bomba para el sistema de reducción catalítica selectiva

Marca	Presión (MPa)	Caudal ( $m^3/h$ )	Posición
ACdelco	0.4	0.1	Interna

# Cañerías del sistema SCR

Considerando la bomba seleccionada para el sistema que posee una presión de 0.4 MPa y los diámetros de salida de la bomba, toma de salida y entrada del depósito, para el inyector se ocupó la cañería de diámetro de 6 mm.



*Figura 9 Cañerías del sistema SCR*

# Regulador de presión

Se utilizó un regulador de presión el cual se encarga de controlar y regular la presión del AdBlue con el cual prevenimos daños.



*Figura 10 Regulador de presión*

# Sensor de Nivel



Figura 11 Sensor de nivel de Adblue



Figura 12 Visualización del valor de nivel de Adblue

VOLTAJE	%
0	0
0,5	10
1	20
1,5	30
2	40
2,5	50
3	60
3,5	70
4	80
4,5	90
5	100

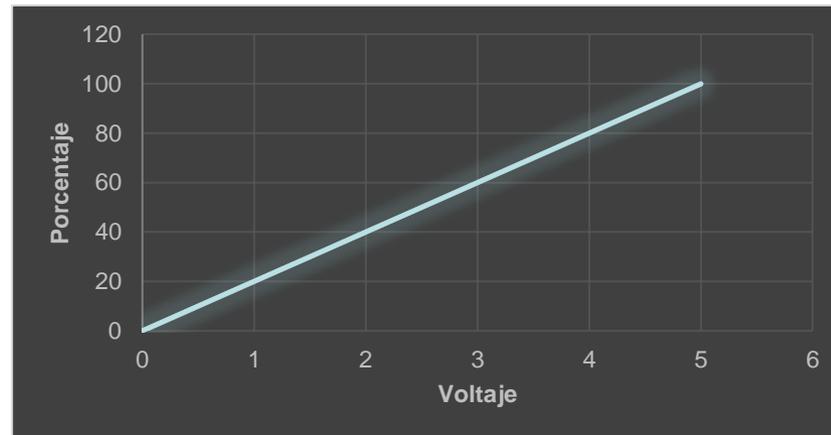


Figura 13 Curva del Voltaje de sensor de nivel



# Cálculos del Sistema Hidráulico

- Cálculo del área interna de la cañería

$$A = \pi * r^2$$

$$A = 2.8274 \times 10^{-5} m^2$$

- Cálculo de la velocidad del fluido

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0.10 m^3/h}{2.8274 \times 10^{-5} m^2}$$

$$V = 3536.776513 m/h$$

$$V = 0.982437 m/s$$



- Cálculo de la velocidad del fluido

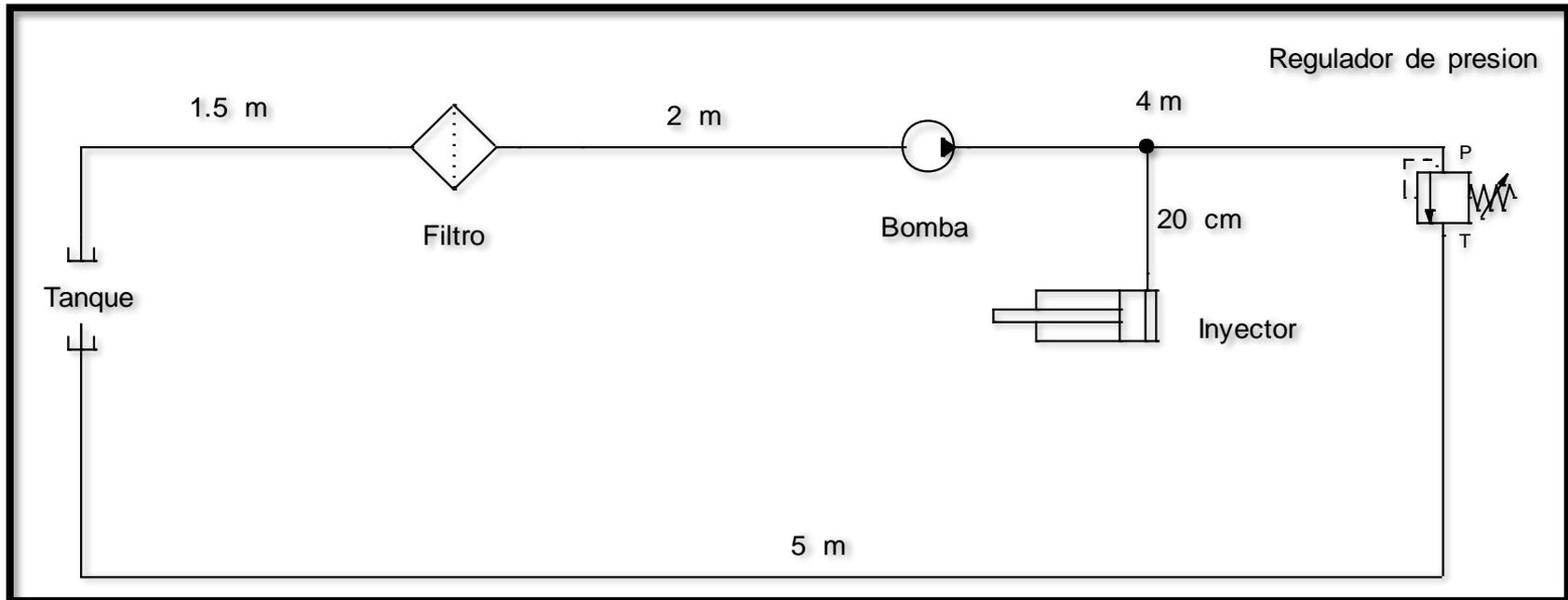
$$N_R = \frac{V * D * \rho}{\eta}$$

$$N_R = \frac{0.982437m/s * (6 * 10^{-3}m) * 1087kg/m^3}{(1.4 * 10^{-3}MPa)}$$

$$N_R = 4576.752$$



# Circuito Hidráulico del sistema SCR



*Figura 14 Circuito hidráulico del sistema SCR*

# Diseño Eléctrico

- **Selección del cable conductor**

Se estableció un alambre calibre 16 con una temperatura de funcionamiento de 60 °C.



*Figura 15 Alambre 16 AWG*

- **Selección del relé**

Se utilizó un relé de 20/30 A para la activación de la bomba y del inyector de AdBlue



*Figura 16 Relé 20/30 A*

# Circuito Eléctrico

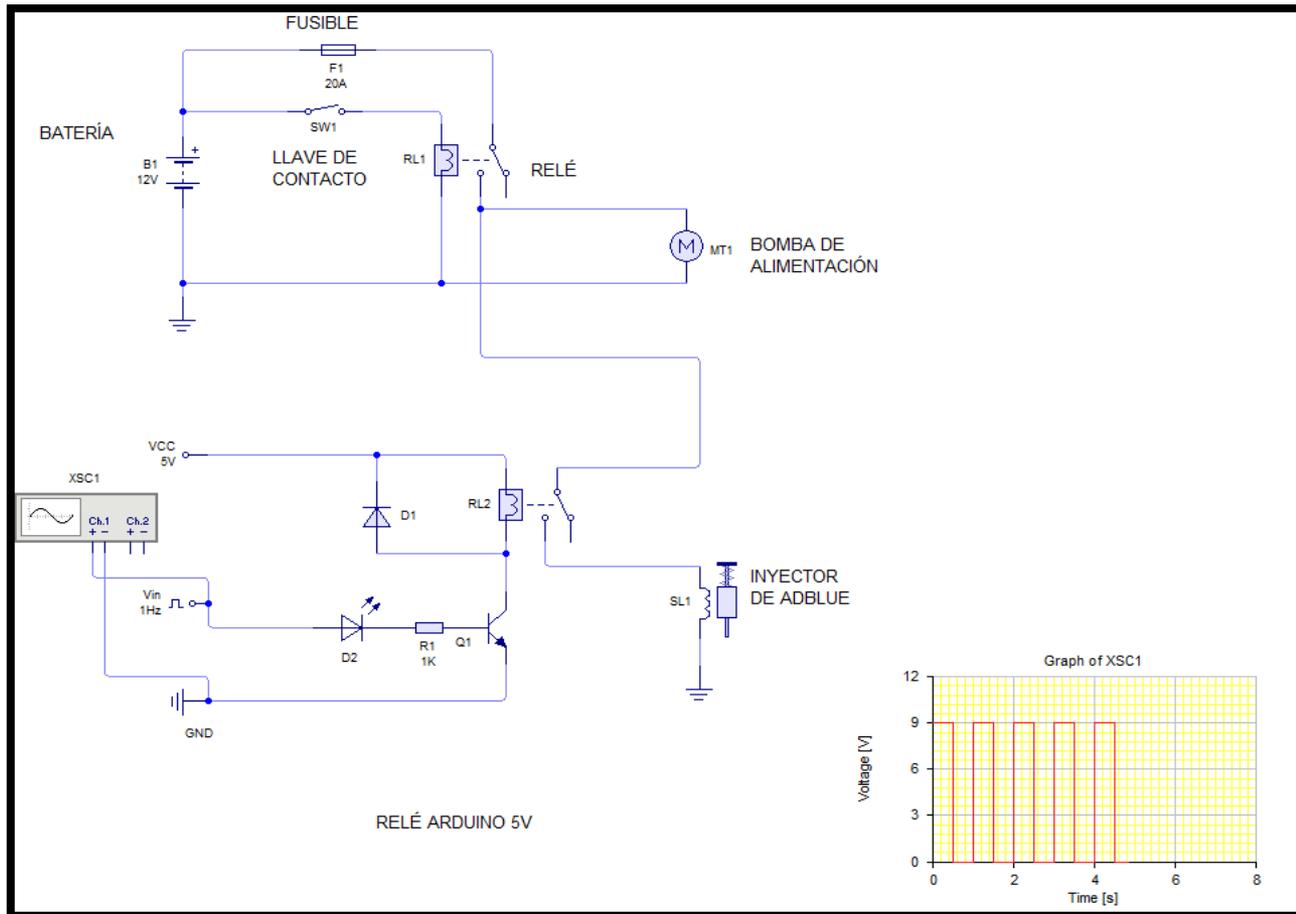
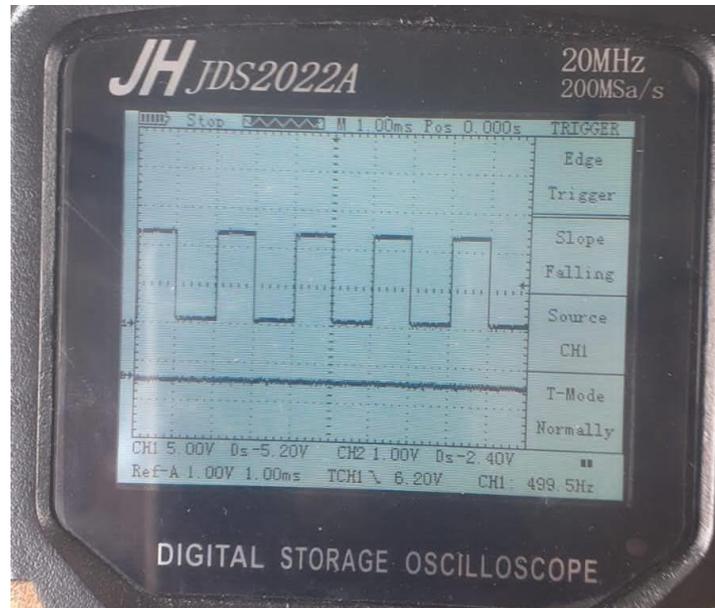


Figura 17 Circuito de activación de la bomba e inyector



# Diseño Electrónico

Oscilograma del sensor Ckp



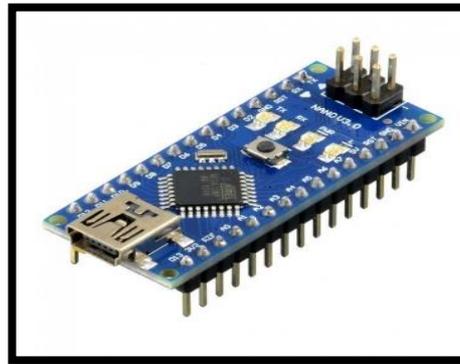
*Figura 18 Oscilograma del sensor Ckp*



# Microcontrolador

Para la selección del Microcontrolador debemos tener en cuenta los siguientes parámetros que son: velocidad, puertos, memoria y el voltaje de alimentación.

Adicionalmente este controlador nos permitirá recibir la señal generada por el sensor para después procesarlas y con esto podremos visualizar los datos en la pantalla LCD.



*Figura 19 Microcontrolador Nano Arduino*

# Programación

Se utilizó el software Arduino el cual trabaja con lenguaje C++ con el cual se desarrolló el código que se va a cargar al Microcontrolador para que ejecute el código de manera adecuada con las variables planteadas.

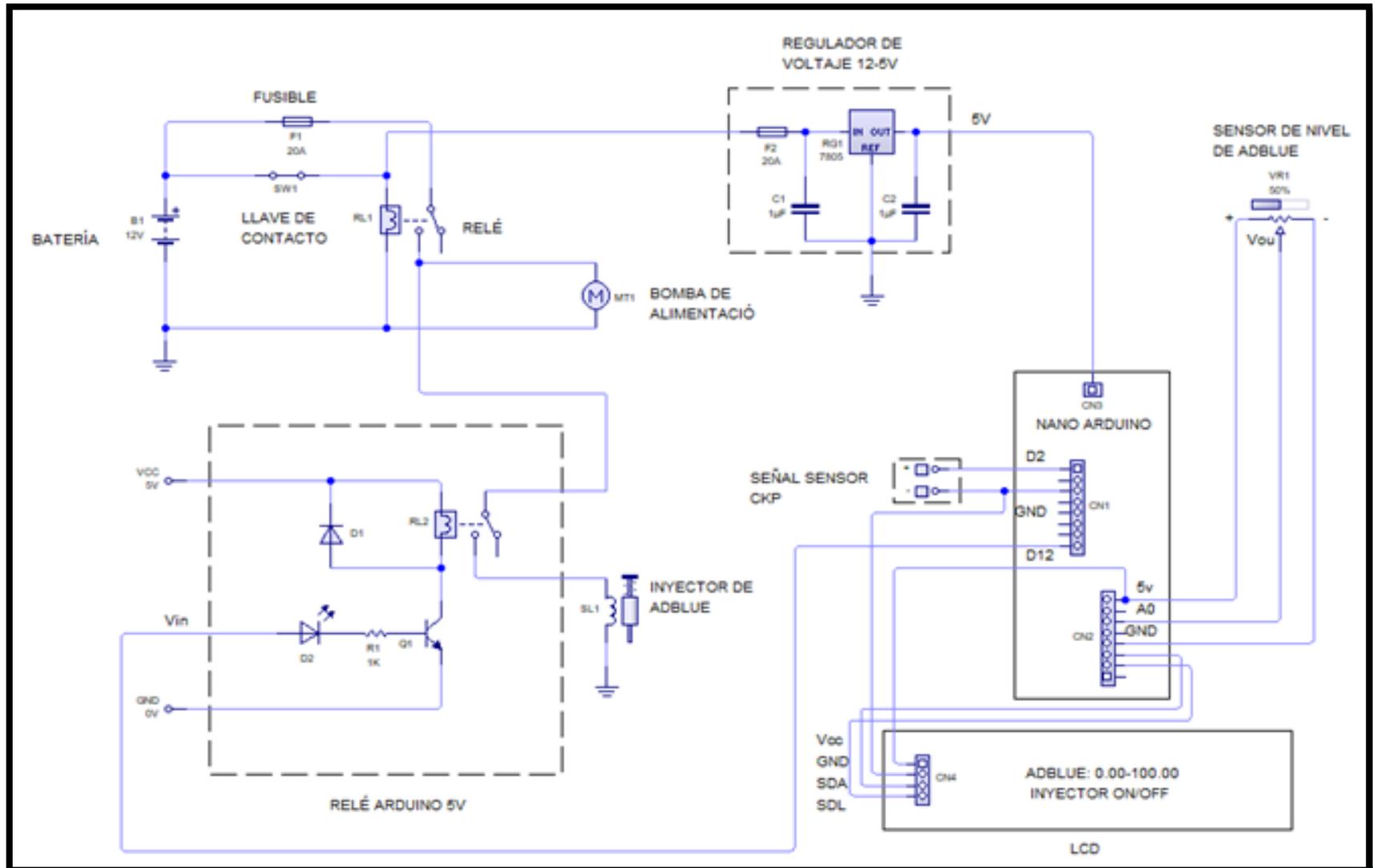
En el proceso de la programación se enfocó en la activación de inyector de AdBlue y el sensor de nivel que nos presenta en una pantalla LCD, el nivel de urea y la activación del inyector



*Figura 20 Visualización de datos en el pantalla LCD*



# Módulo de control de inyección de AdBlue



# Puesta a Punto del Vehículo

El vehículo Corsa 1.7L se realizó un mantenimiento preventivo antes de realizar la pruebas para tener resultados óptimos y coherentes, a continuación se detallan los mantenimientos que se realizaron.

- Cambio de aceite del motor
- Cambio de filtro de aire
- Calibración de bomba de inyección rotativa
- Calibración de inyectores mecánicos



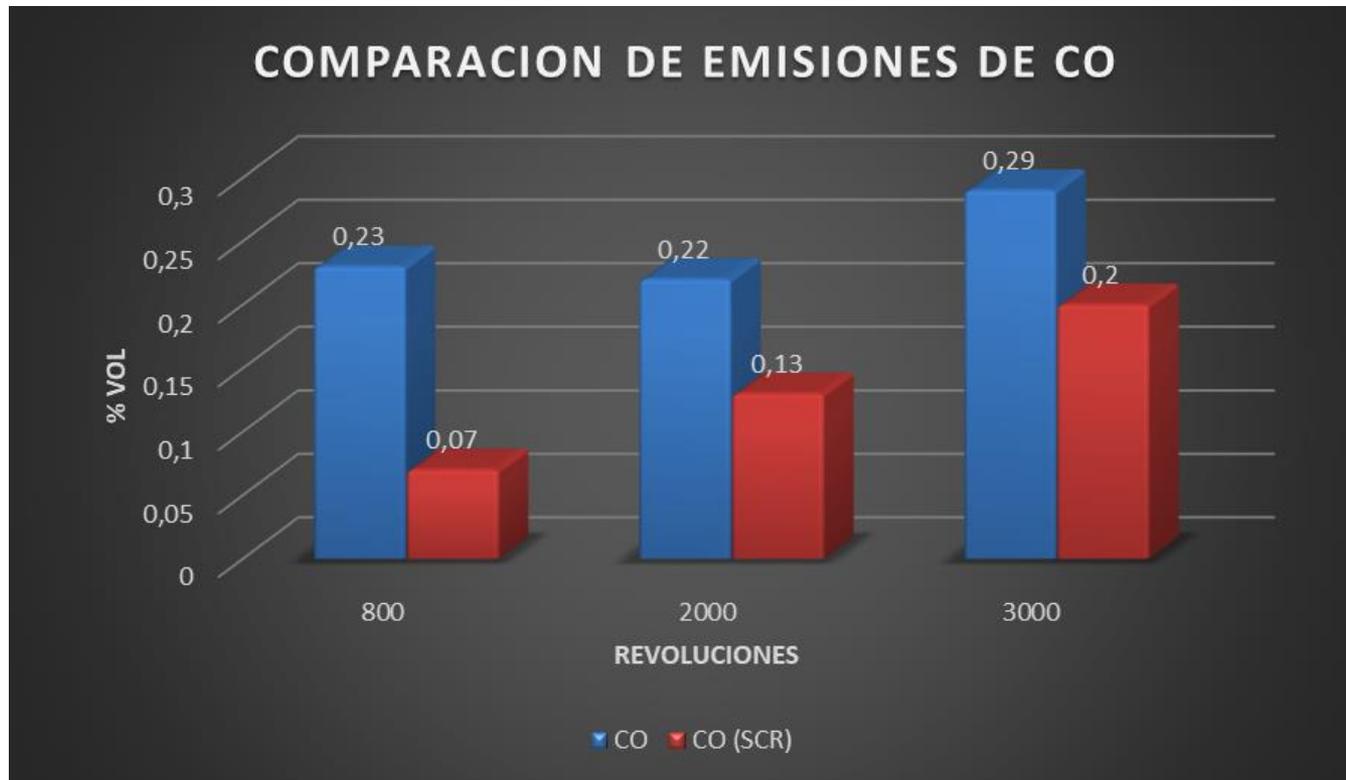
*Figura 21 Vehículo Corsa 1,7 L Diésel*



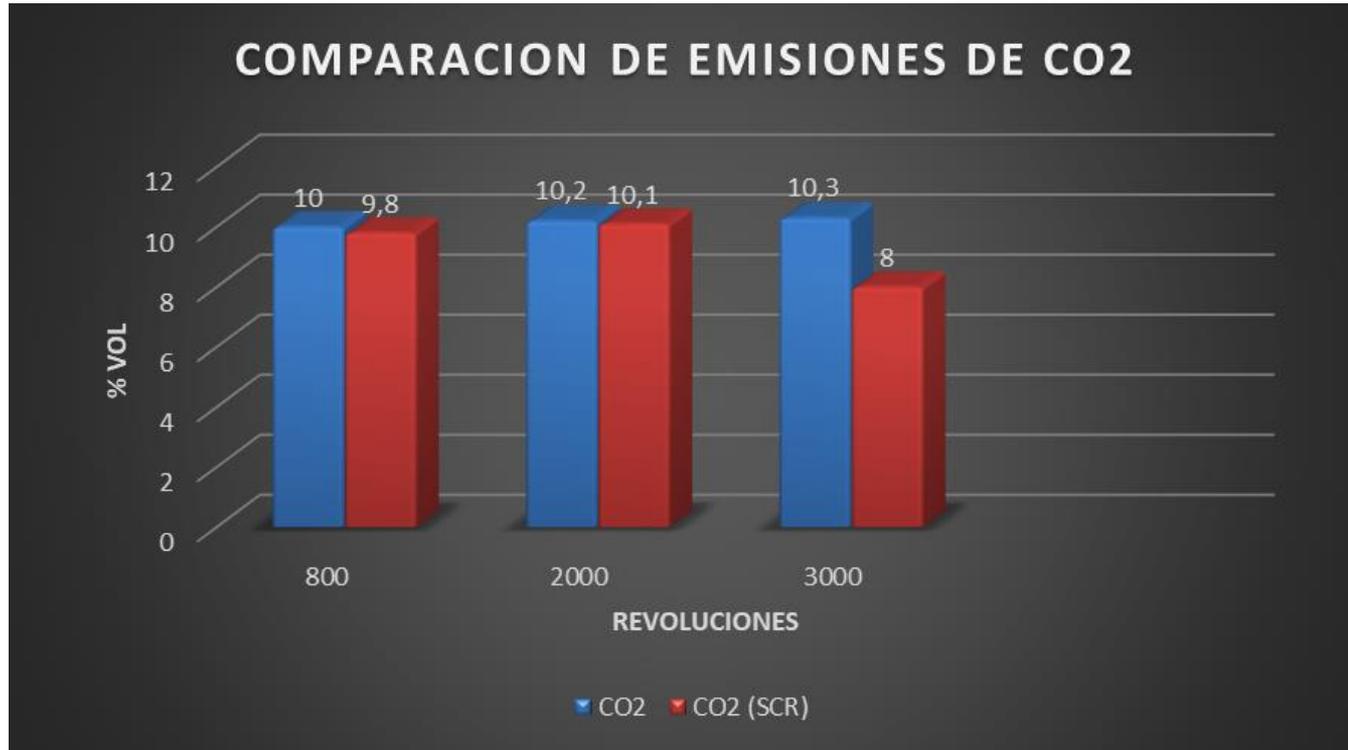
# Resultados de opacidad del sistema original y sistema SCR



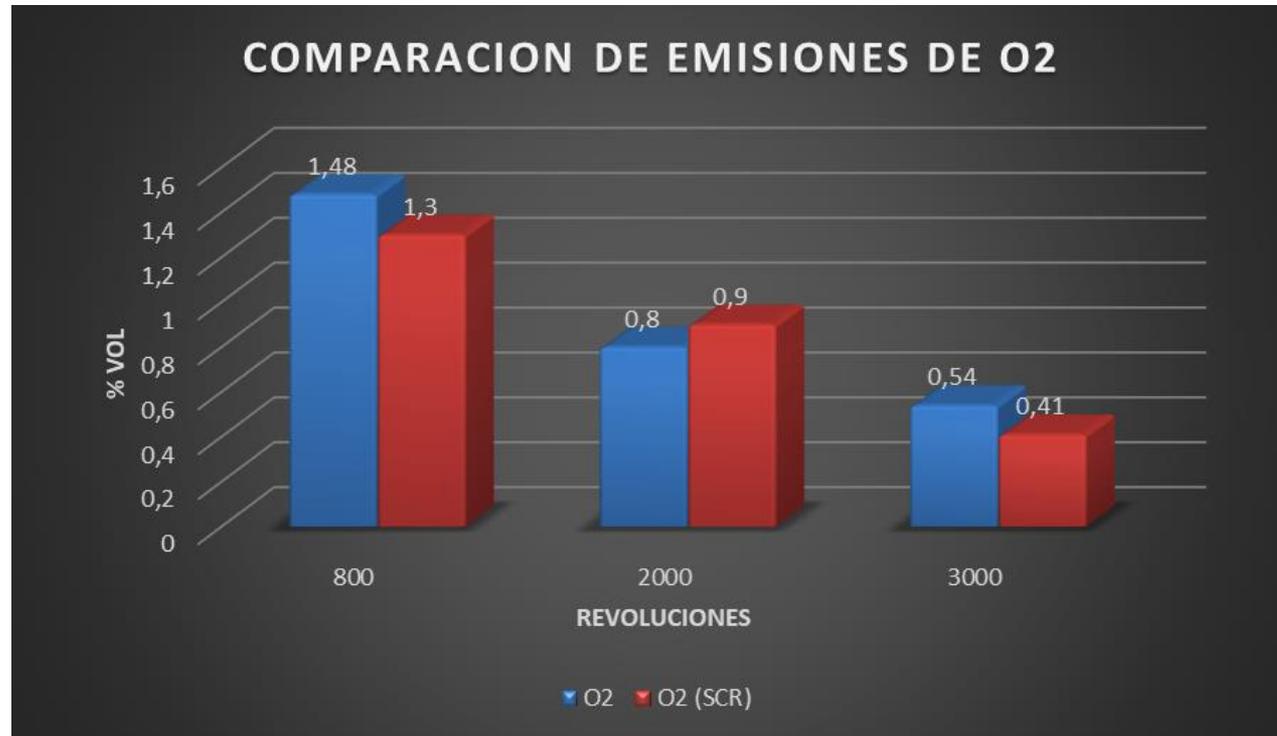
# Valores de emisiones de CO en el sistema original y sistema SCR



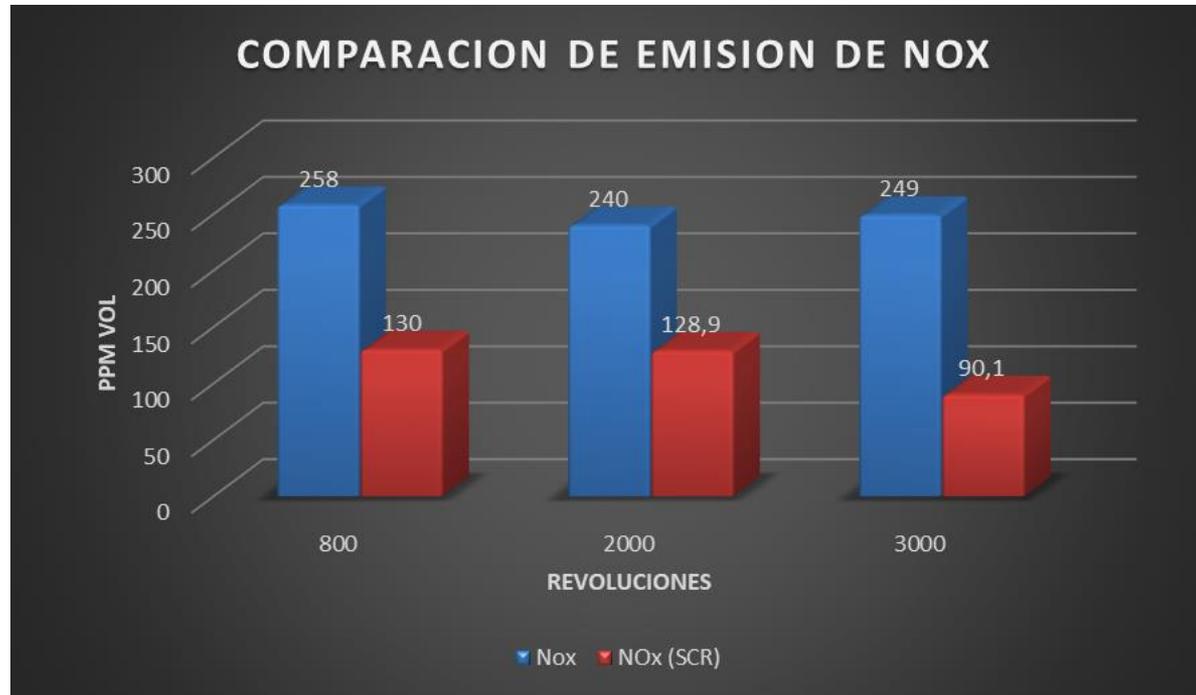
# Valores de emisiones de CO2 en el sistema original y sistema SCR



# Valores de emisiones de O2 en el sistema original y sistema SCR



# Valores de emisiones de NOx en el sistema original y sistema SCR



# Conclusiones

- Se realizó la búsqueda teórica necesaria y confiable que permitan sustentar el tema del proyecto de investigación.
- Se simuló y analizó el modelo de reducción catalítica mediante el cálculo y simulación en un programa de elementos finitos SolidWorks utilizando el complemento Flow Simulation.
- Se registró una opacidad en el sistema estándar del 56% que sobrepasa la normativa INEN NTE 2007:200 que es del 50% de opacidad, mientras que con el sistema de reducción catalítica selectica se obtuvo un valor optimo y que se encuentran en el rango de opacidad de la normativa permitida del 26.6%



- El porcentaje de Monóxido de Carbono (CO), se registró emisiones con el sistema SCR menores al sistema estándar, debido que a 800 rpm con el sistema normal se obtiene un valor de 0.23% Vol de CO mientras en el sistema SCR se obtiene un valor de 0.07 % Vol y a 3000 rpm el sistema normal presento un valor 0.29 % Vol y comparado con el valor del sistema de SCR que es 0.2% se ve que hay una disminución de emisiones con el uso de inyección de urea en el sistema de escape.



- El porcentaje de Oxígeno (O<sub>2</sub>) se registró que el sistema original a 800 rpm tiene un valor de 1.48 % Vol mientras que el sistema SCR tiene un valor de 1.3% Vol , en el caso de las revoluciones a 2000 rpm el sistema original presenta un valor menor de 0.8% Vol que el sistema SCR que presenta 0.9% Vol, mientras que a 3000 revoluciones el sistema original presenta un valor de 0.54% Vol y el sistema SCR obtiene un valor de 0.41% Vol que es menor al sistema original en donde se observa una diferencia de 0.13% más efectivo el sistema SCR.



- Las ppm de Óxidos de Nitrógeno (Nox) se obtuvo que los valores emitidos por el sistema SCR son menores que el sistema original por ejemplo a 800 rpm el sistema original presenta un valor de 258 ppm Vol de NOx mientras que el sistema SCR posee un valor de 130 ppm Vol en donde existe una disminución drástica de las emisiones de NOx, por otra parte a 3000 rpm el sistema original presenta un valor de 249 ppm Vol y el sistema SCR posee 90.1 ppm Vol en donde se observa una gran eficiencia de la inyección de AdBlue para ayudar a reducir las emisiones que genera el vehículo corsa 1.7 L diésel



# Recomendaciones

- Se recomienda utilizar un vehículo con sistema de inyección electrónica ya que tiene un mayor número de sensores en el motor que facilita el control del inyector de AdBlue y los tiempos de inyección.
- Se recomienda para investigaciones futuras utilizar sensores de óxidos de nitrógeno (Nox), de esta manera se crean nuevos controles de inyección para mejorar la reducción de Nox.
- Para investigaciones futuras se recomienda utilizar sensores de temperatura en el sistema tubo de escape, que ayuda a los pulsos de inyección de AdBlue y los tiempos de apertura del inyector.



Nunca bajas  
la cabeza,  
porque si lo  
haces  
perderás de  
vista tus  
metas.

*Ojeda A.*



***GRACIAS***



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA