



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

## CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

TEMA: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE INYECCIÓN DE METANOL EN EL VEHÍCULO HYUNDAI SANTA FÉ 2.7 LITROS PARA EL ANÁLISIS DE RENDIMIENTO"

AUTOR: ANDRÉS SEBASTIÁN VILLACRÉS QUINTANA

DIRECTOR: ING. DANILO ZAMBRANO

LATACUNGA, NOVIEMBRE 2015

# Contenido

- ▶ Planteamiento del proyecto de investigación
- ▶ Objetivos
- ▶ Introducción
- ▶ Fase de diseño y construcción
- ▶ Implementación del sistema
- ▶ Pruebas
- ▶ Conclusiones
- ▶ Recomendaciones

# Antecedentes

- ▶ Necesidad de vehículos más potentes
  - ▶ Gasolina de mejor calidad
    - ▶ Combustibles más costosos
  - ▶ Mejora de propiedades antidetonantes (octanaje)
- ▶ Reducir emisión de gases contaminantes
- ▶ Aplicación en varios campos
  - ▶ Aeronáutica
  - ▶ Motores estacionarios
  - ▶ Motores de vehículos (aspiración simple, supercargados y turbocargados)

# Planteamiento de la problemática de estudio

- ▶ Calidad del combustible ofertado en Ecuador
  - ▶ Inconveniente para que un motor no sea aprovechado al máximo de su eficiencia.
- ▶ Búsqueda de sistemas alternativos
  - ▶ Minorar consumo combustible
  - ▶ Disminuir emisión de gases contaminantes
  - ▶ Mejorar el rendimiento del motor

# Objetivos

- ▶ Objetivo general
  - ▶ Diseñar y construir un sistema de control de inyección de metanol que permita analizar el rendimiento del sistema aplicado al motor del vehículo HYUNDAI SANTA FE 4WD 2.7litros.

# Objetivos específicos

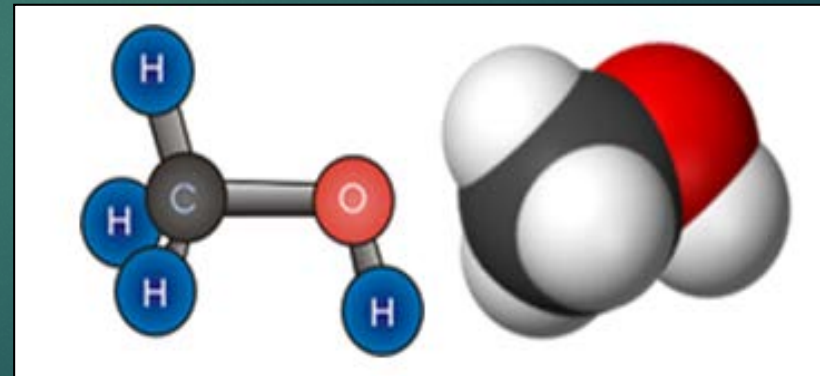
- ▶ Diseñar y construir el sistema de inyección de metanol aplicándolo a la admisión de aire del vehículo.
- ▶ Diseñar el control electrónico para la inyección de metanol.
- ▶ Implementar el sistema de inyección de metanol en el vehículo
- ▶ Evaluar mediante un dinamómetro el rendimiento del motor posterior a la implementación del sistema en el vehículo con y sin la utilización del sistema de inyección de metanol.

# Objetivos específicos

- ▶ Analizar la emisión de gases contaminantes con y sin la aplicación del sistema de inyección de metanol.
- ▶ Realizar pruebas de ruta para evaluar la influencia del sistema de inyección de metanol en el consumo de combustible.
- ▶ Analizar el rendimiento del sistema implementado en el vehículo de acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas sometidas con el fin de evaluar la influencia del sistema en el rendimiento del motor.

# Introducción

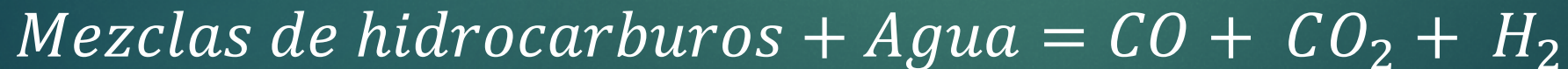
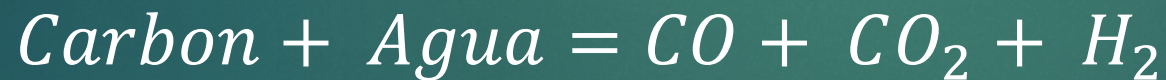
- ▶ Metanol
  - ▶ Carbinol
  - ▶ Alcohol metílico
  - ▶ Alcohol de madera
  - ▶ Espíritu de madera
  - ▶ Alcohol de quemar
- ▶ usos automotrices
  - ▶ Combustible (alta volatilidad)
  - ▶ Disolvente de pinturas
  - ▶ Composición del líquido refrigerante
  - ▶ Elevador de octanaje
  - ▶ Aspiración de metanol
- ▶ Toxicidad
  - ▶ Auto evaporación
  - ▶ Fatal al ingerir



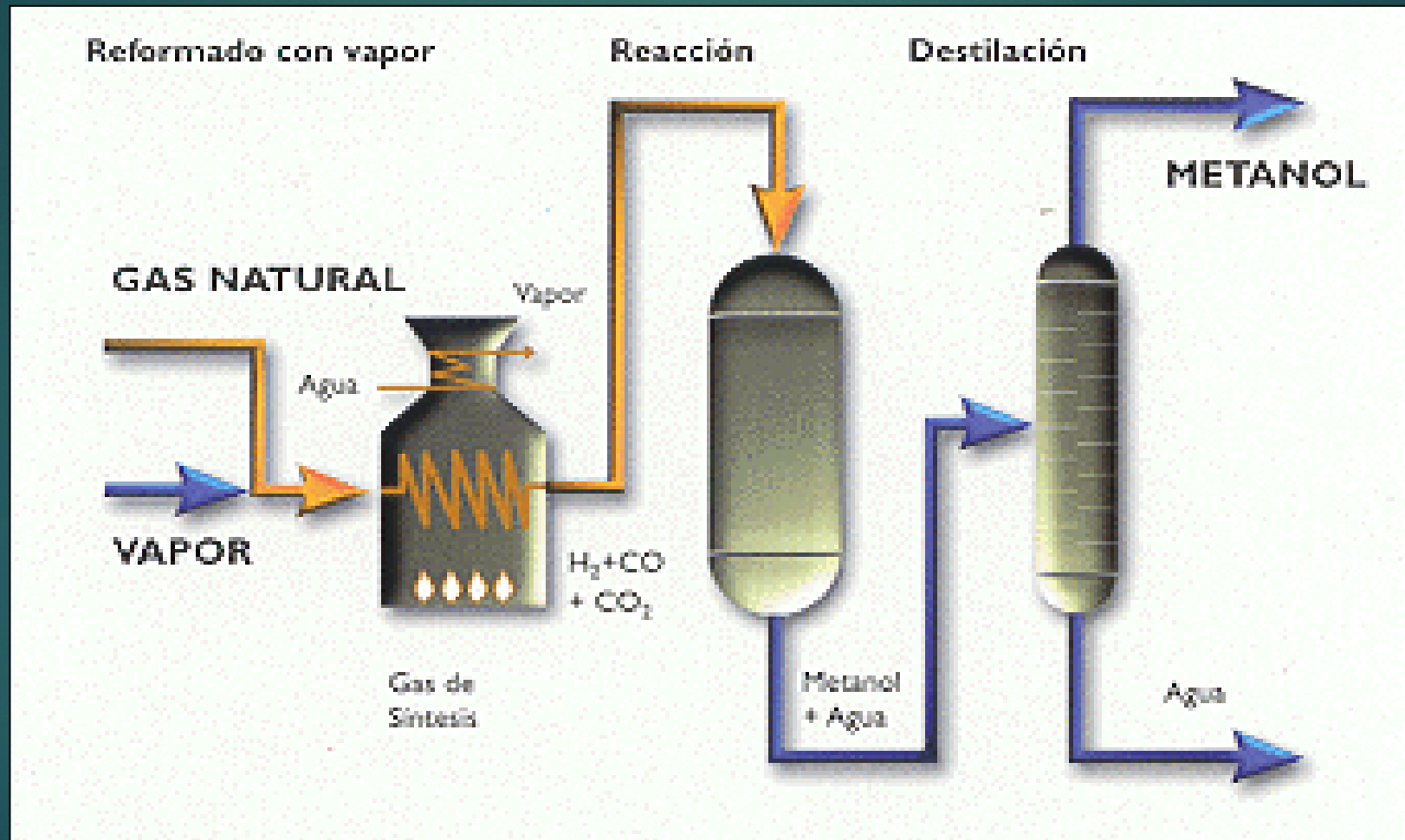


# Obtención de metanol

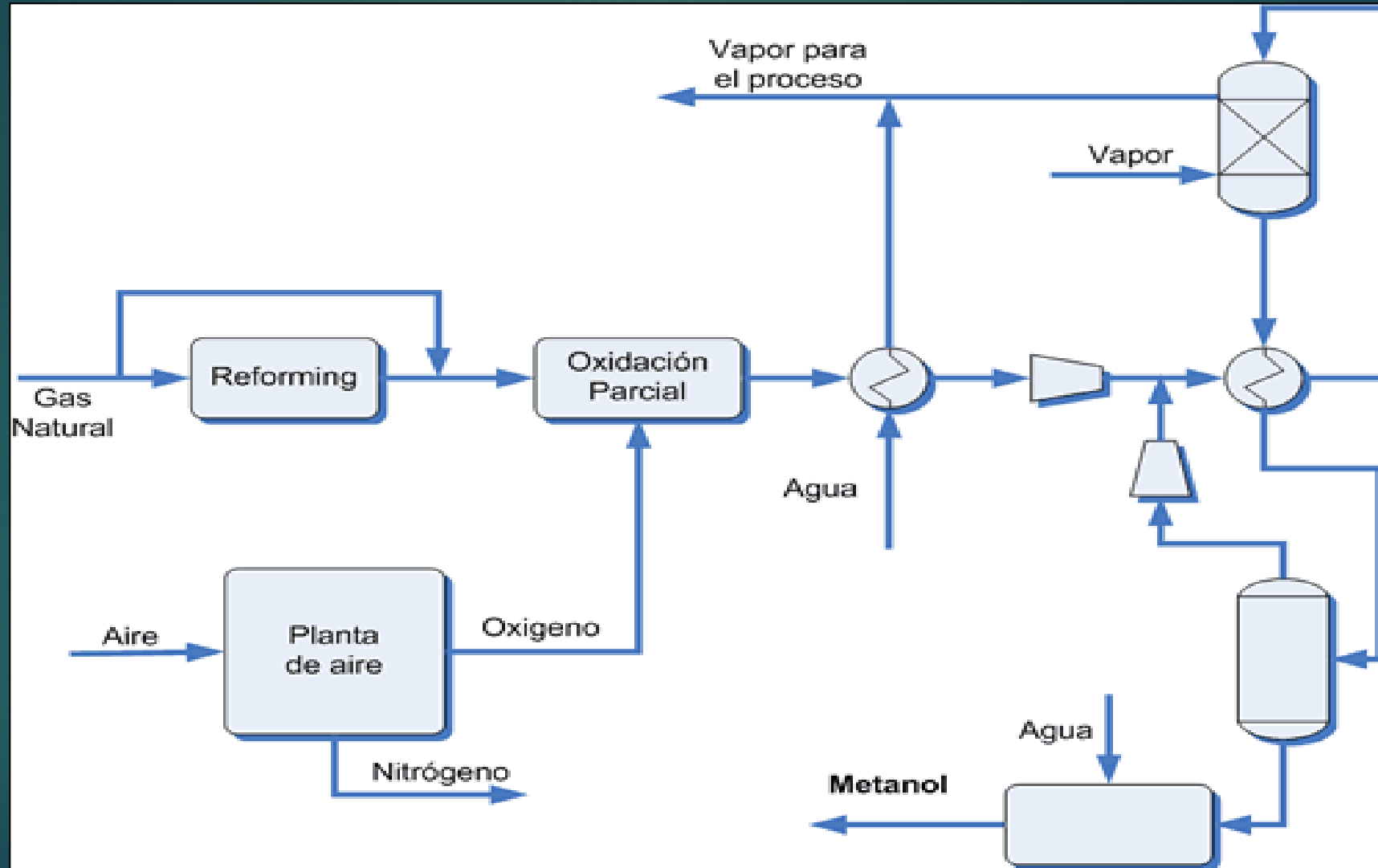
- ▶ La reacción química del proceso catalítico (destilación)
- ▶ Catalizadores ZnO, Cr<sub>3</sub>O<sub>2</sub>
- ▶ 300-400 °C y 200-300 atm



# Obtención de metanol



# Obtención de metanol



# Producción y venta en el Ecuador

- ▶ Venta libre y observada por el CONSEP y el ministerio del ambiente
- ▶ Producción por destilación (Problema de salud pública)
- ▶ Usado como combustible
- ▶ Precio entre 1.35 USD, hasta los 2,50 USD por cada galón.

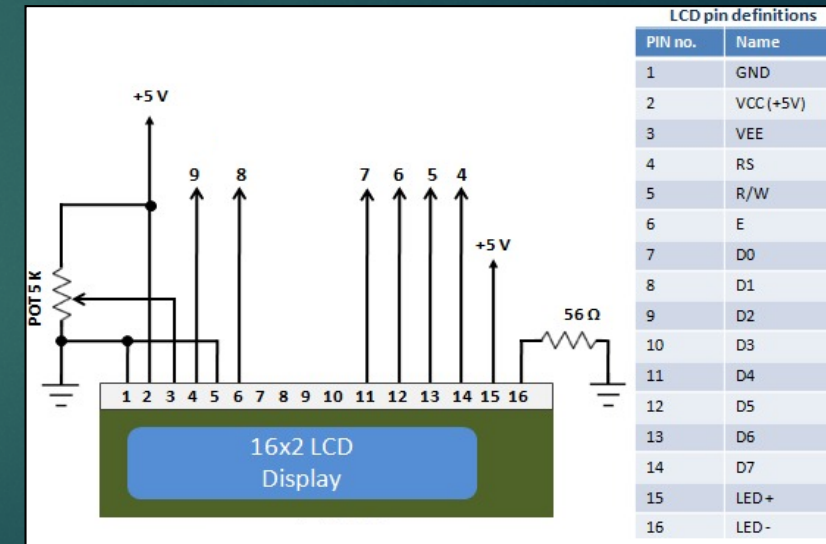
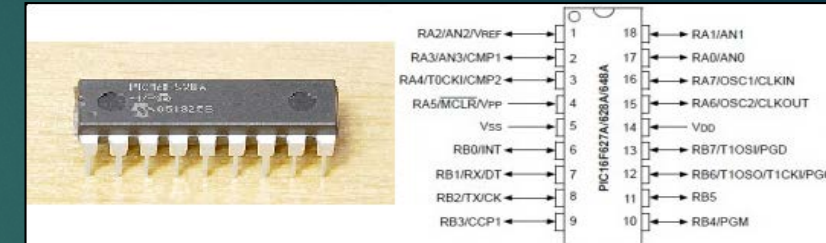
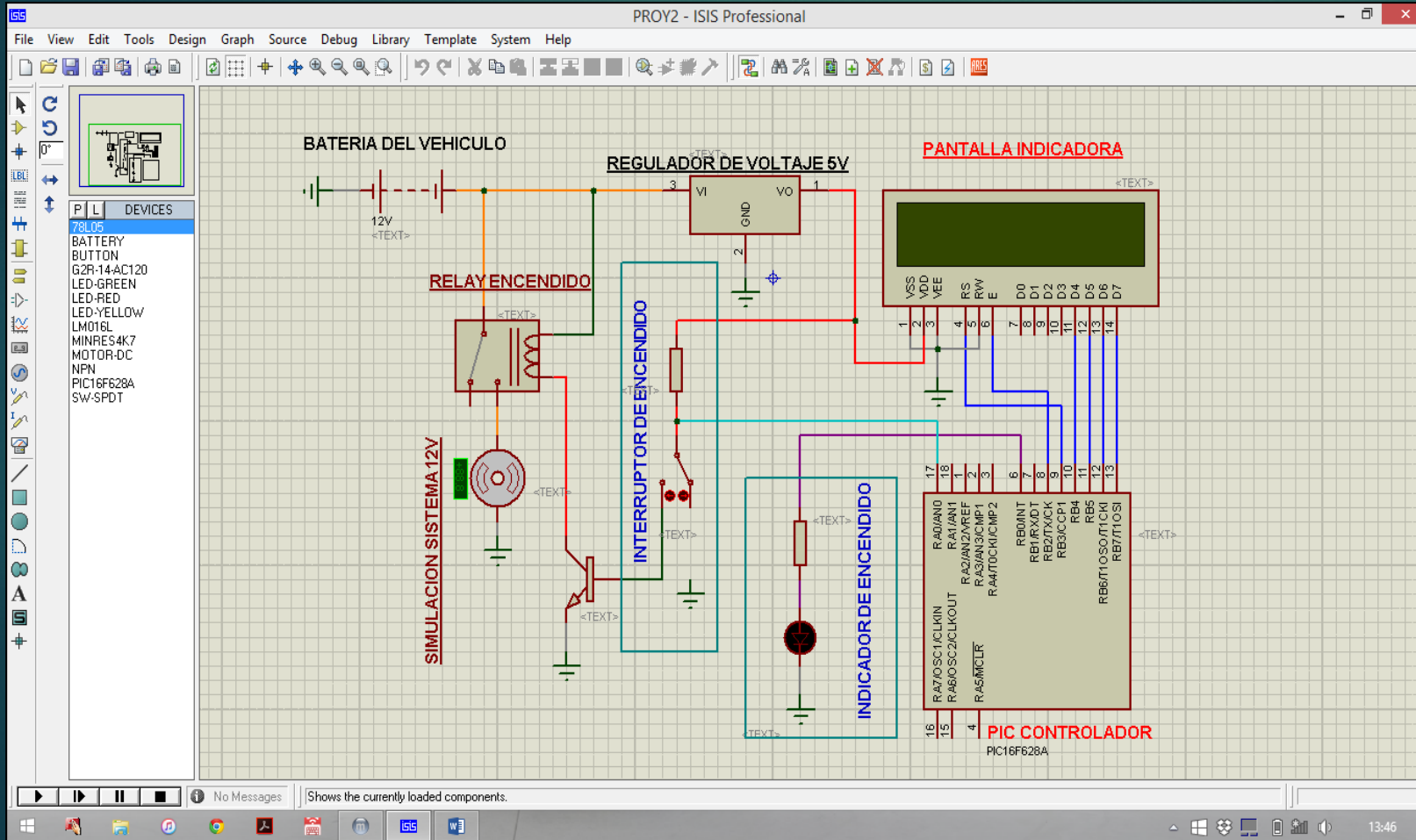
# Beneficios de la inyección de metanol en un motor

- ▶ Baja la temperatura del aire de carga
- ▶ Reduce la temperatura del cilindro
- ▶ Aumenta la potencia del combustible
- ▶ Permite el uso de combustibles de grados de octanaje más bajos
- ▶ Enfría y protege la parte superior de sus pistones
- ▶ Una progresión y expansión más estable de la combustión
- ▶ Remueve el carbón que se acumulan en las cámaras de combustión, pistones y válvulas
- ▶ Reduce y ayuda a eliminar daños al motor por detonación y pre-ignición

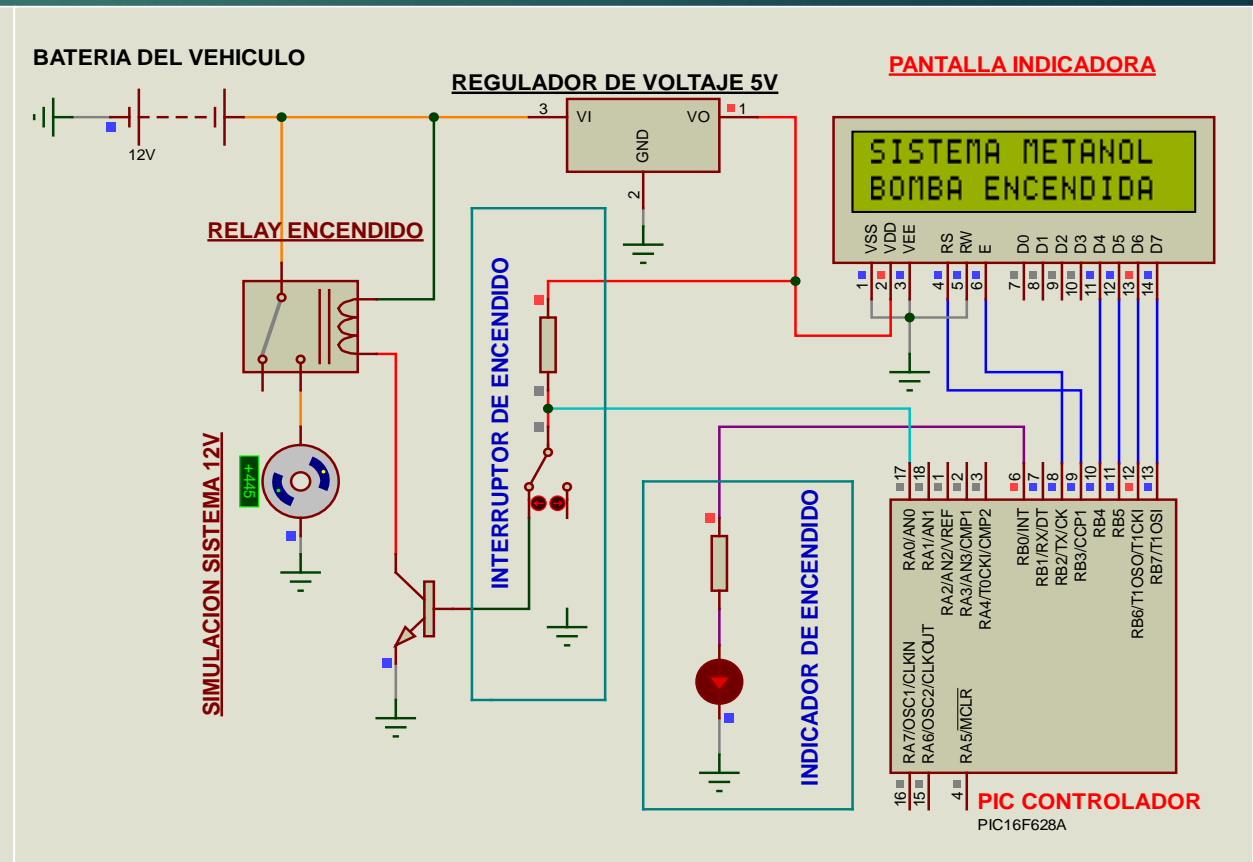
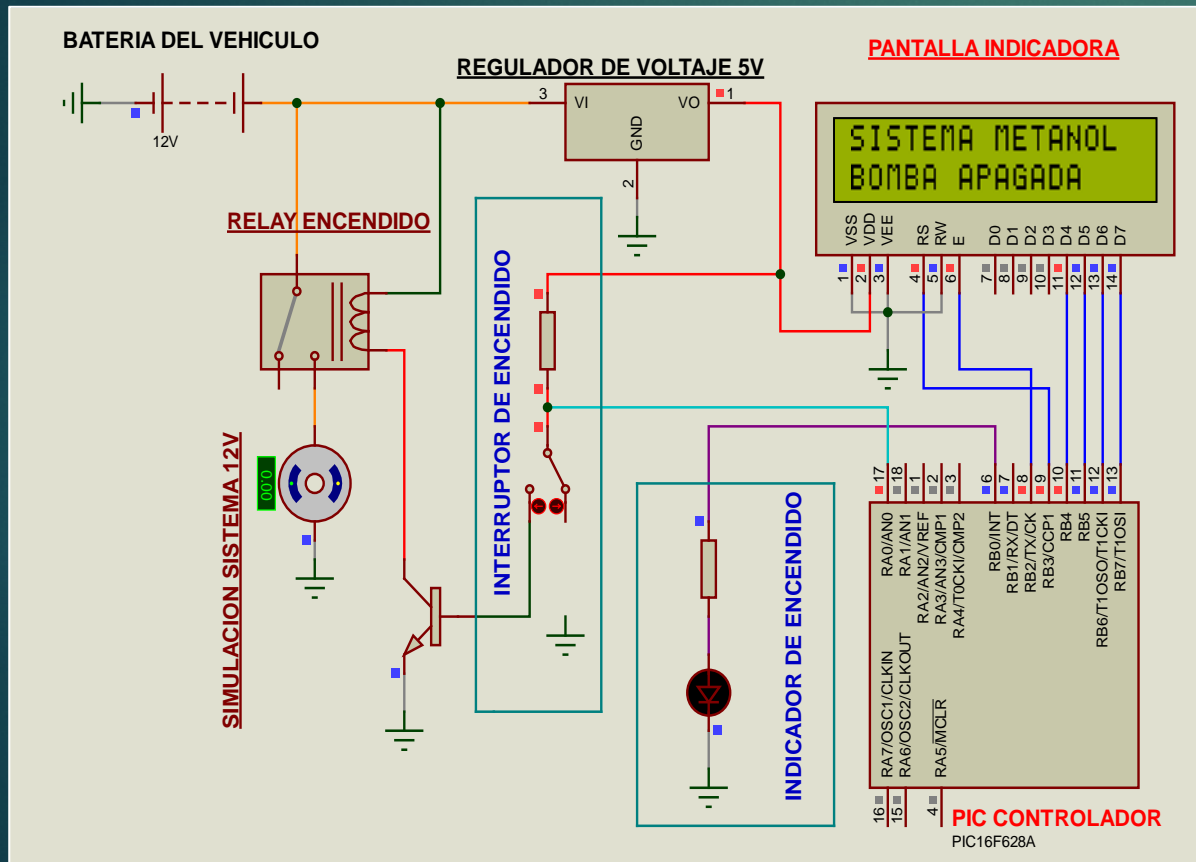


Fase de diseño y construcción

# Diseño del circuito de control y protección del sistema

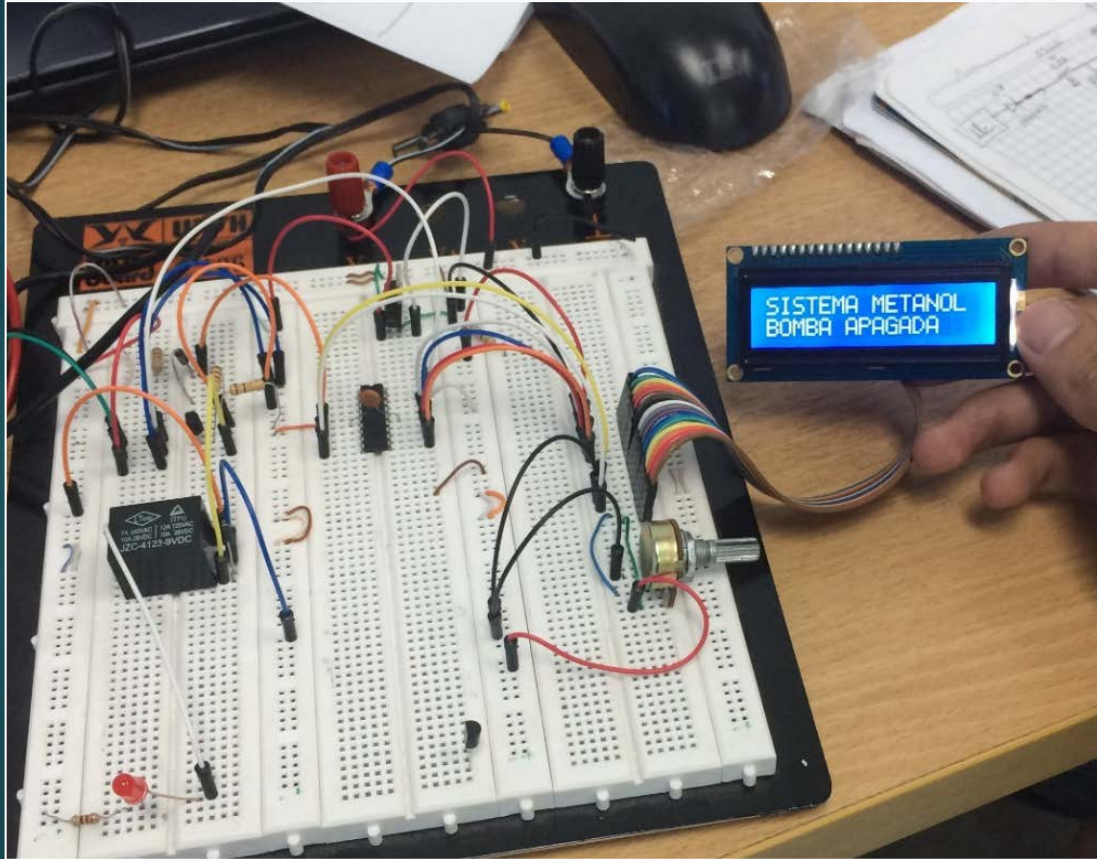


# Diseño del circuito de control y protección del sistema

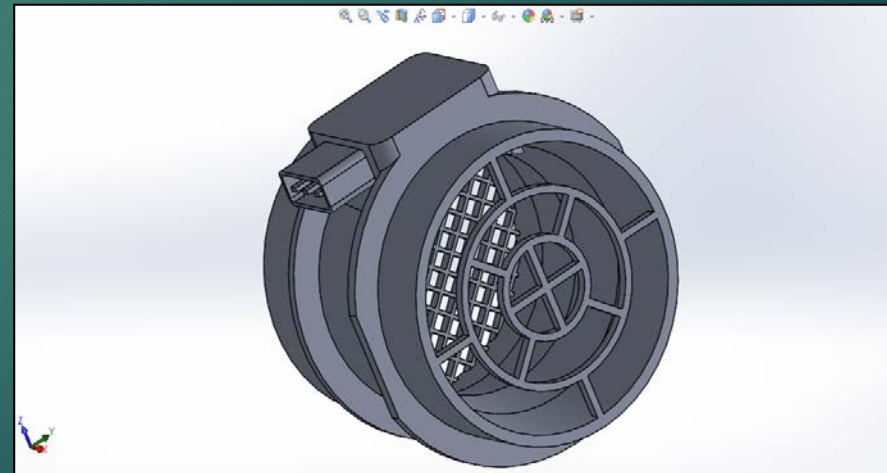
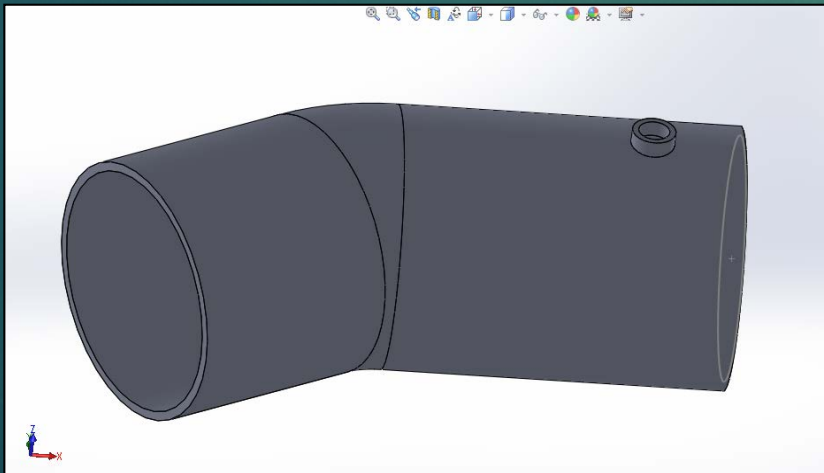




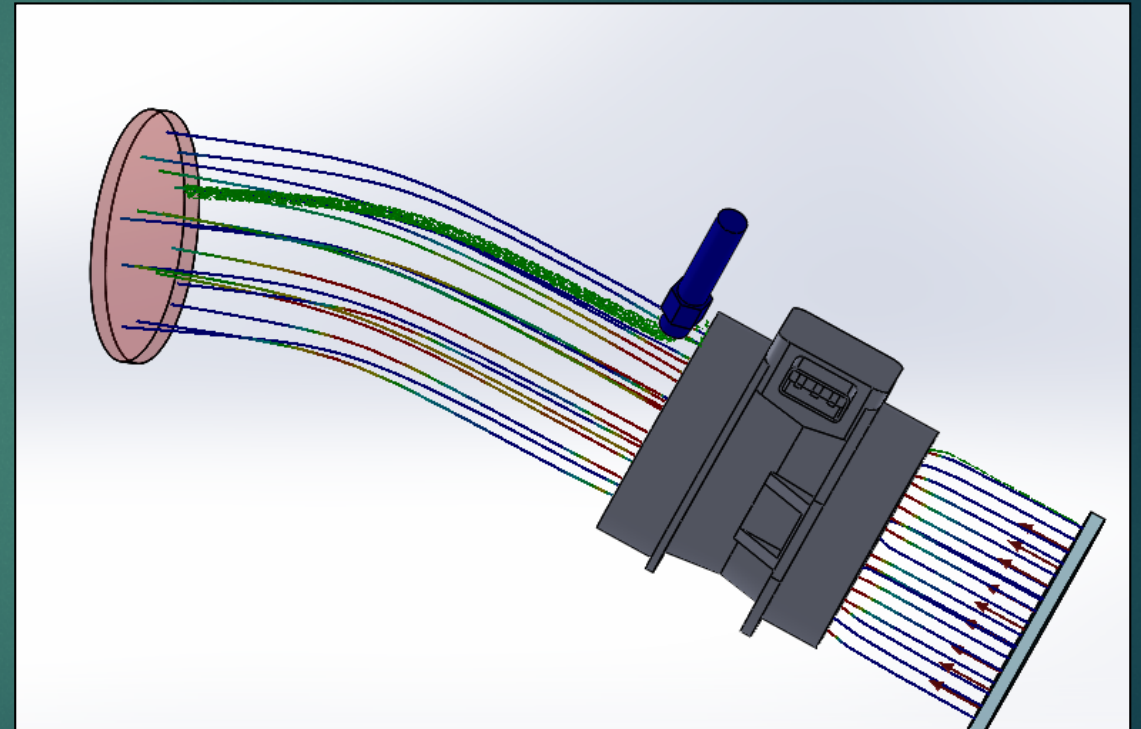
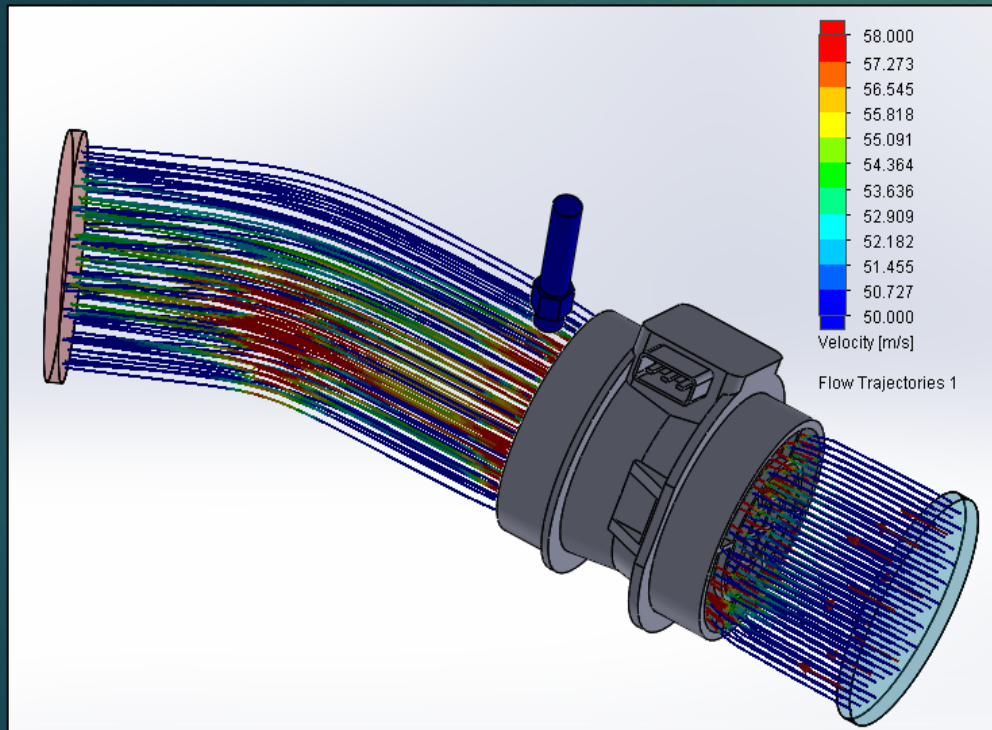
# Comprobación del circuito



# Diseño del colector de aire



# Simulación de flujo de aire/metanol



# Construcción del colector de admisión



Implementación

# Vehículo

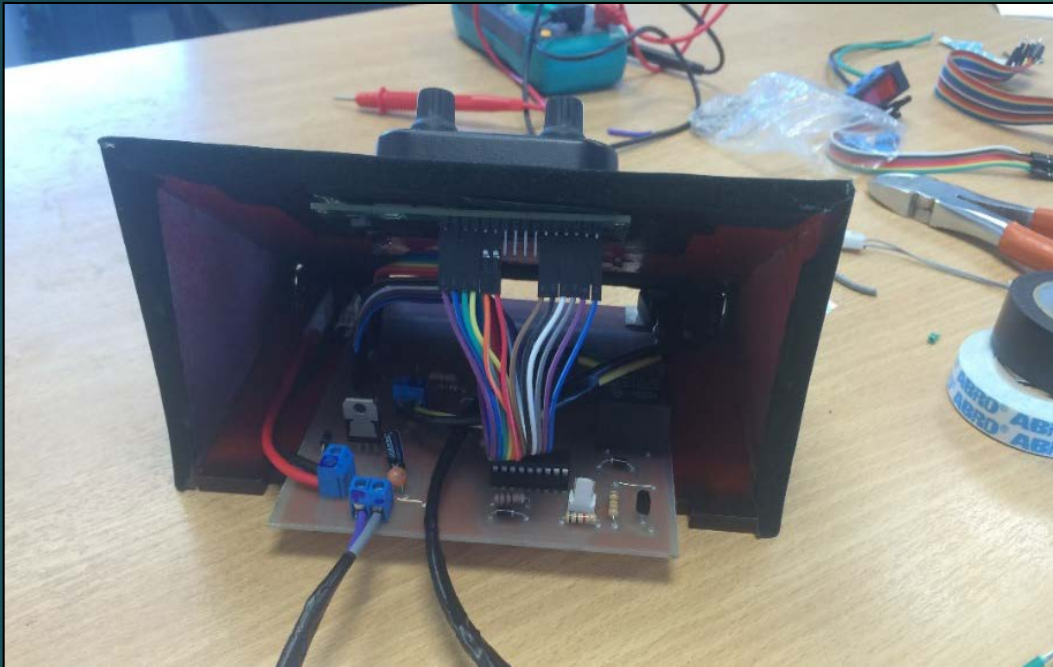


**Hyundai Santa Fé**  
**2,7 Litros V**  
**4WD**

# Implementación del colector de aire



# Implementación del sistema electrónico.

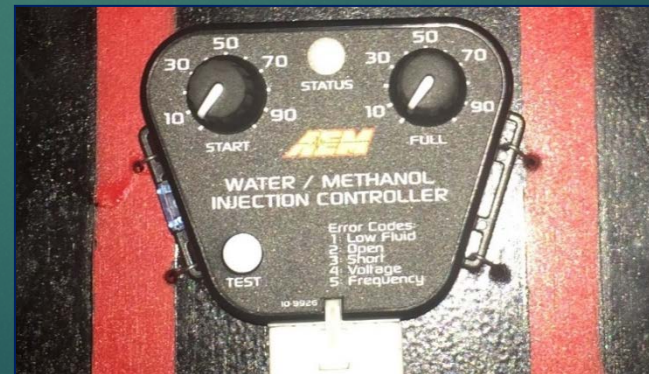




# Comprobación de funcionamiento del sistema de encendido



# Implementación del sistema de inyección de metanol




# Regulación

- Usar líquidos no inflamables, en el caso del metanol se recomienda usar el líquido al 50 % de pureza
- La temperatura del fluido a bombear no debe sobrepasar los 140°F (60°C)
- Se debe instalar la bomba en un lugar donde no se supere los 150°F (66°C).

Regulación según la boquilla			
HP	5-10 psi Boost	10-25 psi Boost	25-+ psi Boost
100	80	85	95
150	75	80	90
200	70	75	85
250	65	70	80
300	60	65	75
350	55	60	70

Pruebas



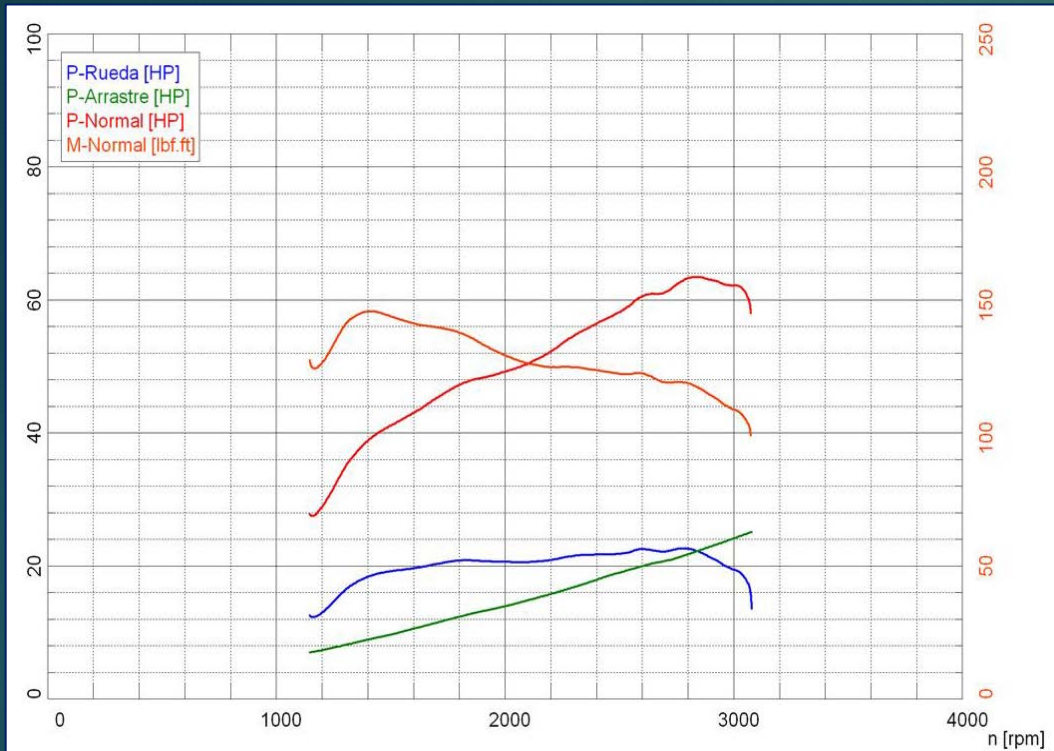
Análisis de consumo y rendimiento de metanol  
mediante el sistema implementado.

# Duración del metanol

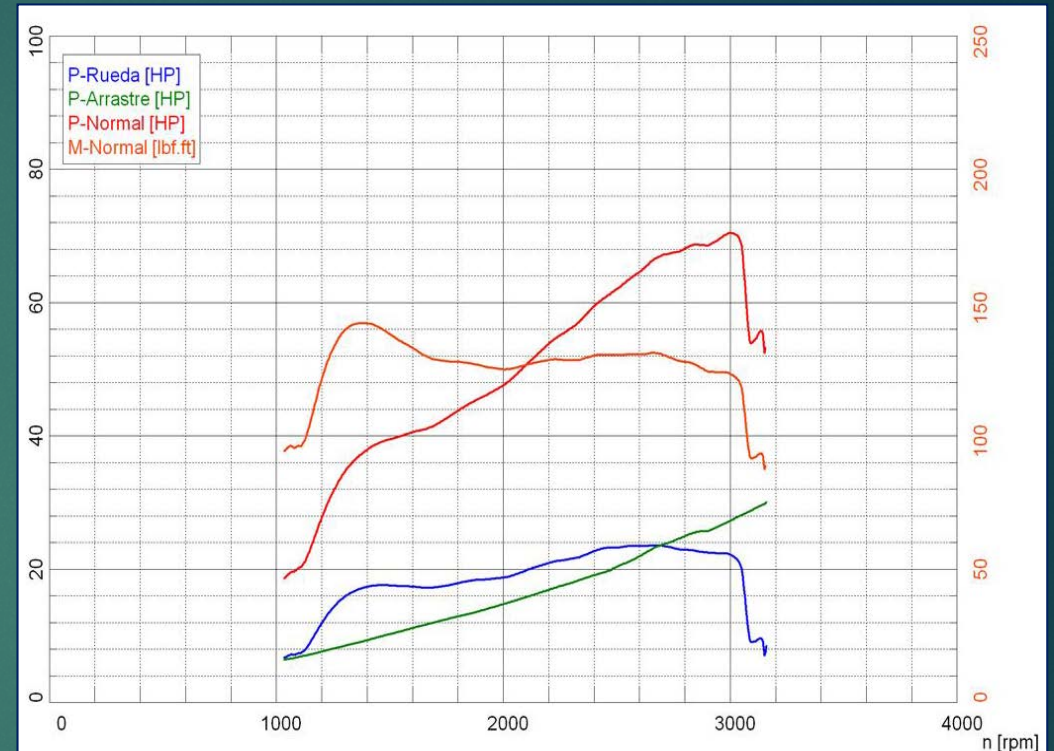


Consumo de metanol	
USD/galón	\$ 1,35
Galones	1
Km recorridos	544,1
km/gal	544,1
km/L	143,73
USD/Km	\$ 0,002

# Evaluación de rendimiento

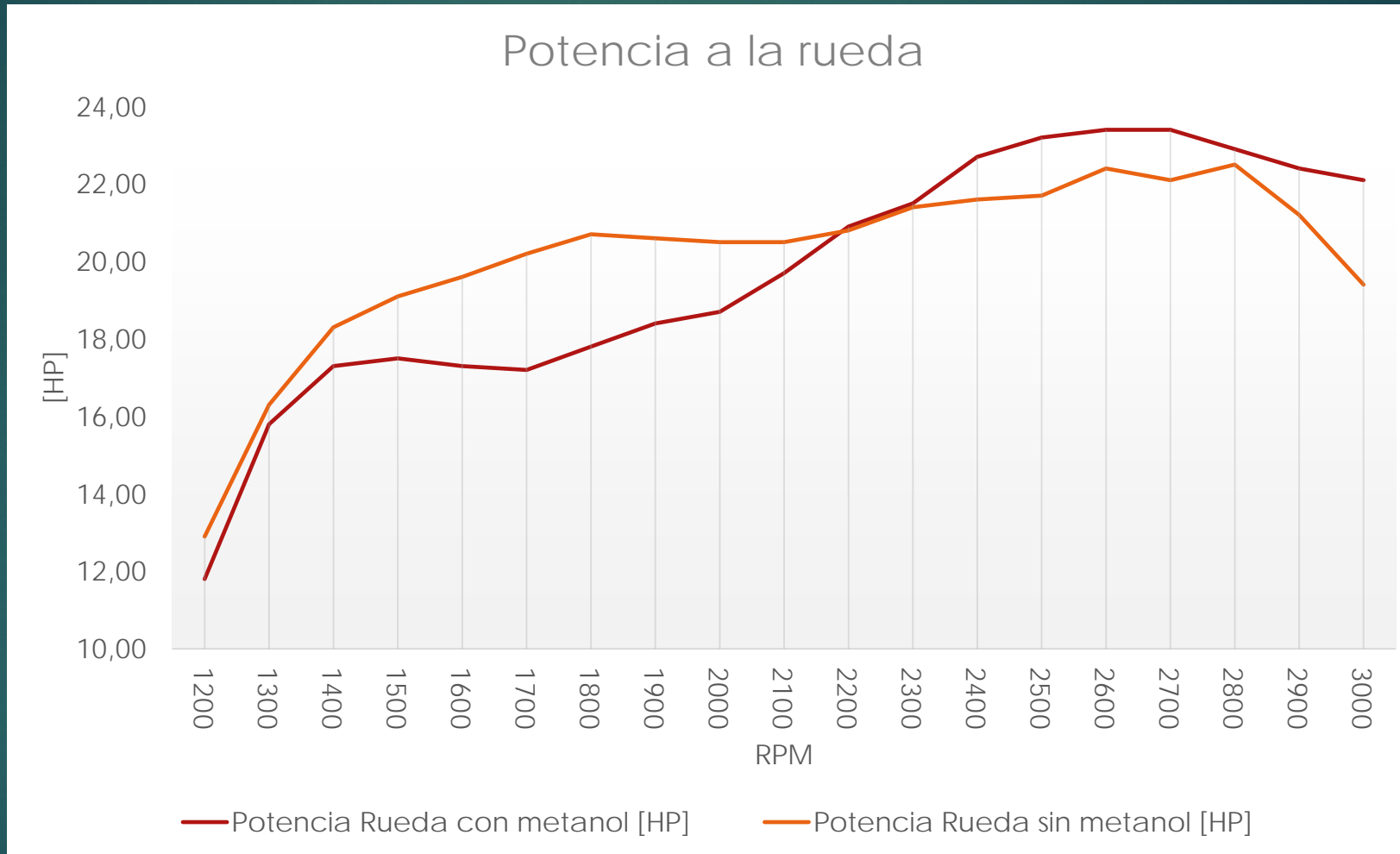


Valores de potencia			Valores del ambiente		
Potencia normal 1)	$P_{Normal}$	63,3 HP / 47,2 kW	Temperat. ambiente	$T_{Ambiente}$	76,3 F
Potencia motor	$P_{Mot}$	44,3 HP / 33,1 kW	Temperat. aire aspirado	$T_{Aire\ aspirado}$	69,6 F
Potencia ruedas	$P_{Rueda}$	22,4 HP / 16,7 kW	Humedad relativa del aire	$H_{Aire}$	28,2 %
Potencia arrastre	$P_{Arrastre}$	22,0 HP / 16,4 kW	Presión del aire	$p_{Aire}$	739,4 hPa
Potencia máx.		2825 rpm / 76,0 mph	Presión del vapor	$p_{Vapor}$	8,7 hPa
Par 1)	$M_{Normal}$	145,5 lbf.ft	Temperat. del aceite	$T_{Aceite}$	195,8 F
Par máx.		1415 rpm / 38,1 mph	Temperat. carburante	$T_{Carburante}$	---- F
RPM máx. alcanzado		3080 rpm / 82,9 mph			



Valores de potencia			Valores del ambiente		
Potencia normal 1)	$P_{Normal}$	70,3 HP / 52,5 kW	Temperat. ambiente	$T_{Ambiente}$	75,2 F
Potencia motor	$P_{Mot}$	49,4 HP / 36,8 kW	Temperat. aire aspirado	$T_{Aire\ aspirado}$	67,6 F
Potencia ruedas	$P_{Rueda}$	22,2 HP / 16,6 kW	Humedad relativa del aire	$H_{Aire}$	29,3 %
Potencia arrastre	$P_{Arrastre}$	27,2 HP / 20,3 kW	Presión del aire	$p_{Aire}$	739,4 hPa
Potencia máx.		2995 rpm / 88,7 mph	Presión del vapor	$p_{Vapor}$	8,7 hPa
Par 1)	$M_{Normal}$	142,1 lbf.ft	Temperat. del aceite	$T_{Aceite}$	190,4 F
Par máx.		1375 rpm / 40,7 mph	Temperat. carburante	$T_{Carburante}$	---- F
RPM máx. alcanzado		3160 rpm / 93,6 mph			

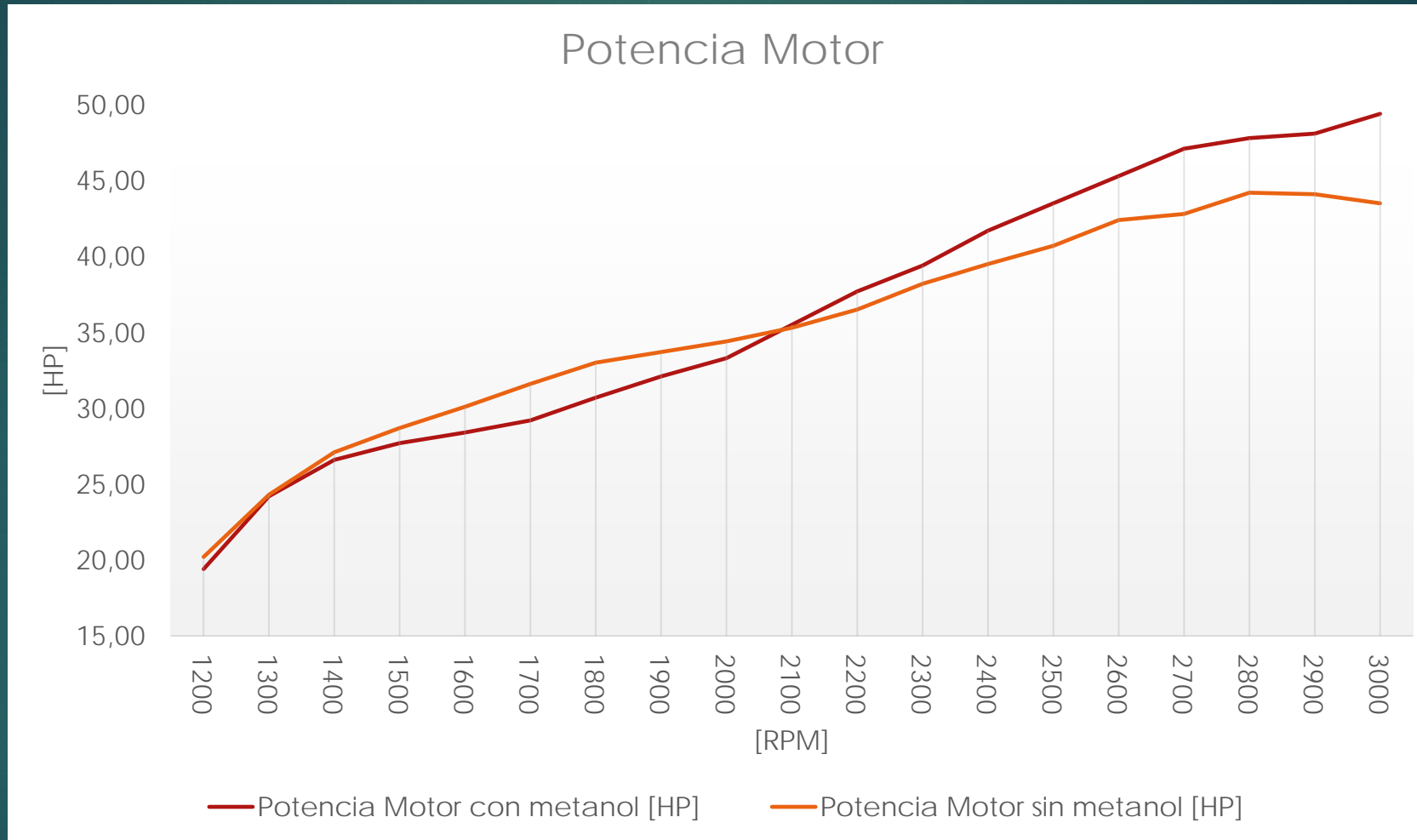
# Evaluación de potencia



Valores máximos			
	Con metanol	Sin metanol	unidad
Potencia Rueda	23,40	22,50	HP

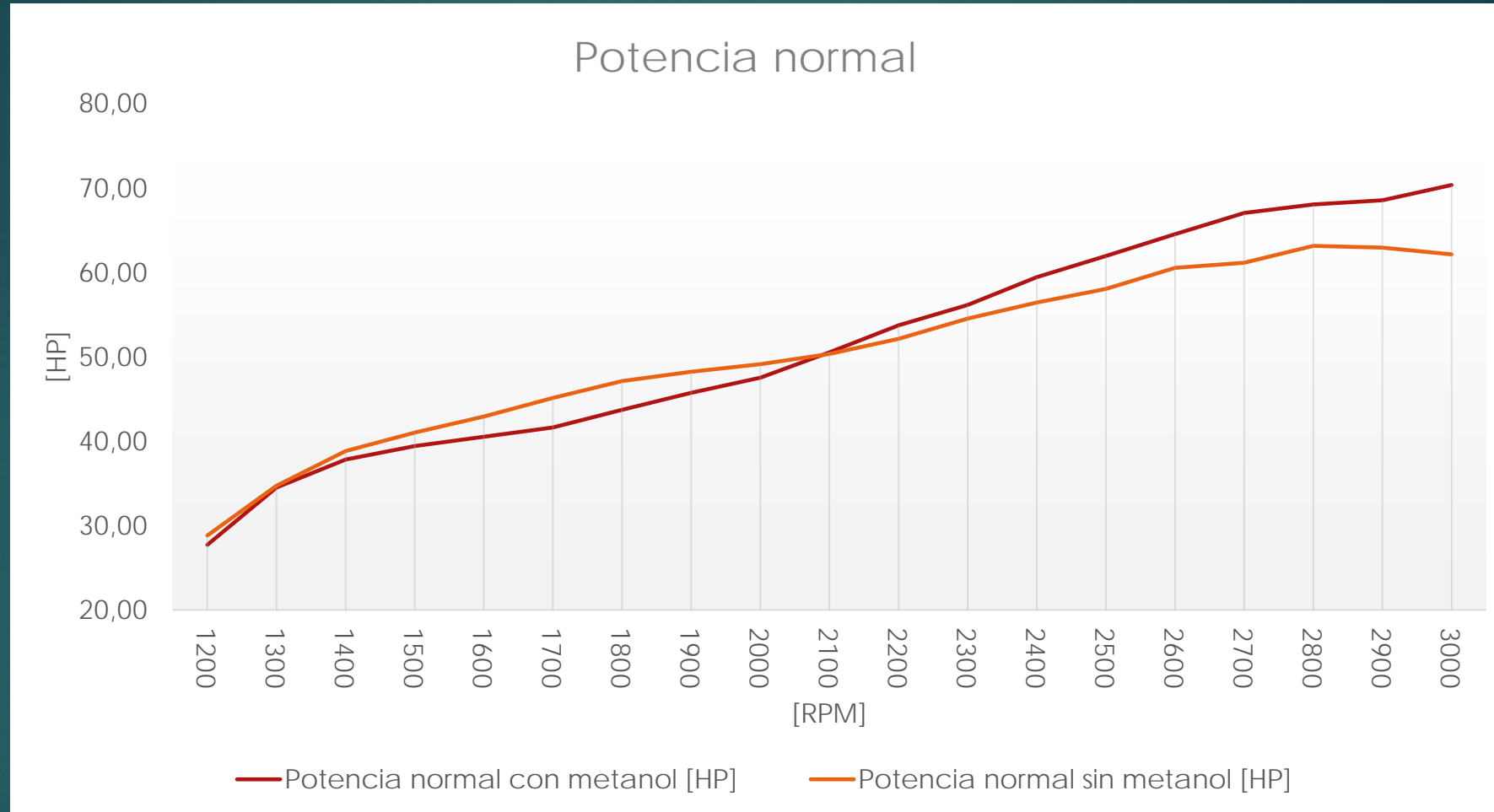


# Evaluación de potencia



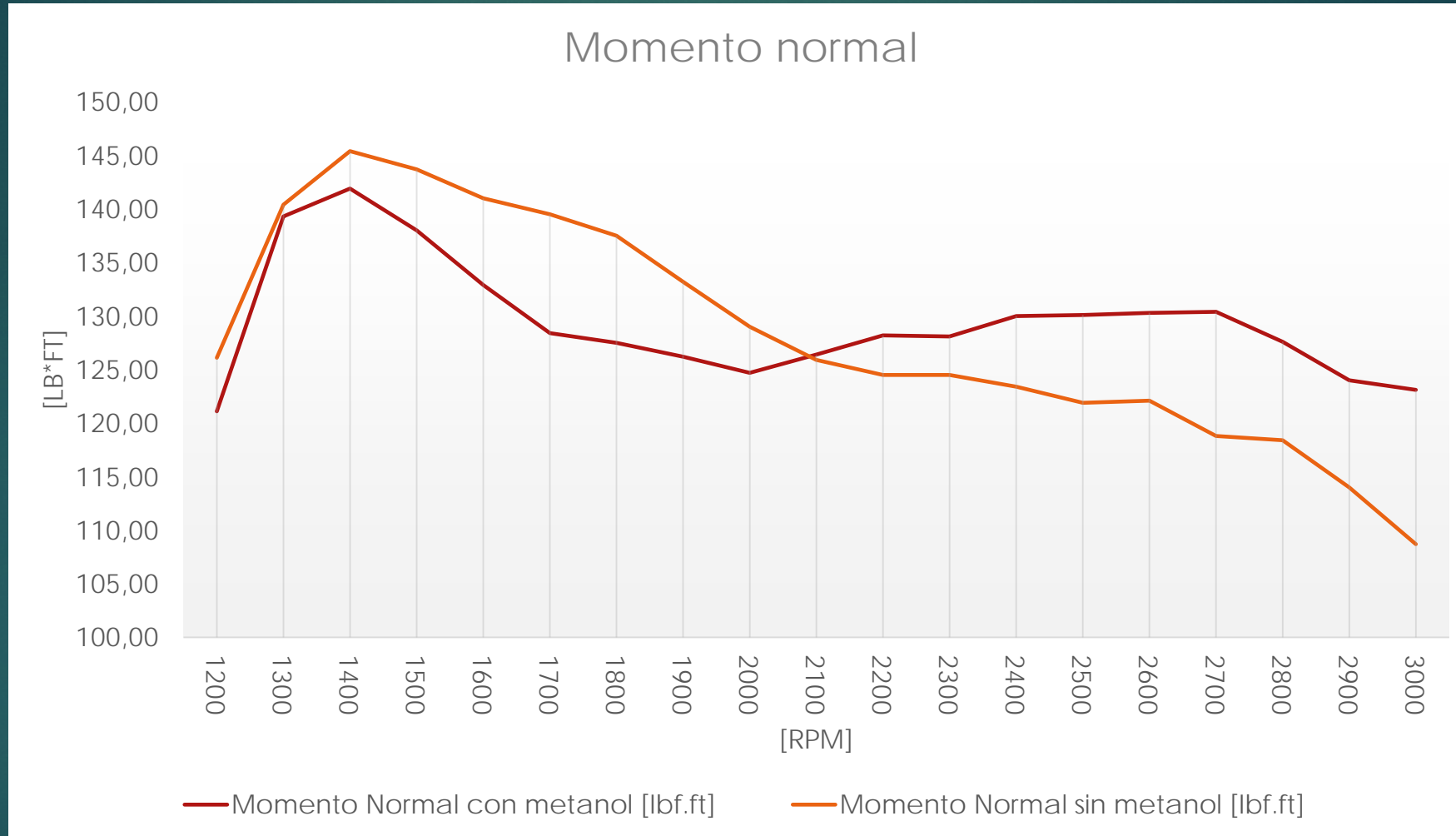
Valores máximos			
	Con metanol	Sin metanol	unidad
Potencia Motor	49,40	44,20	HP

# Evaluación de potencia



Valores máximos			
	Con metanol	Sin metanol	unidad
Potencia normal	70,30	63,10	HP

# Evaluación de torque

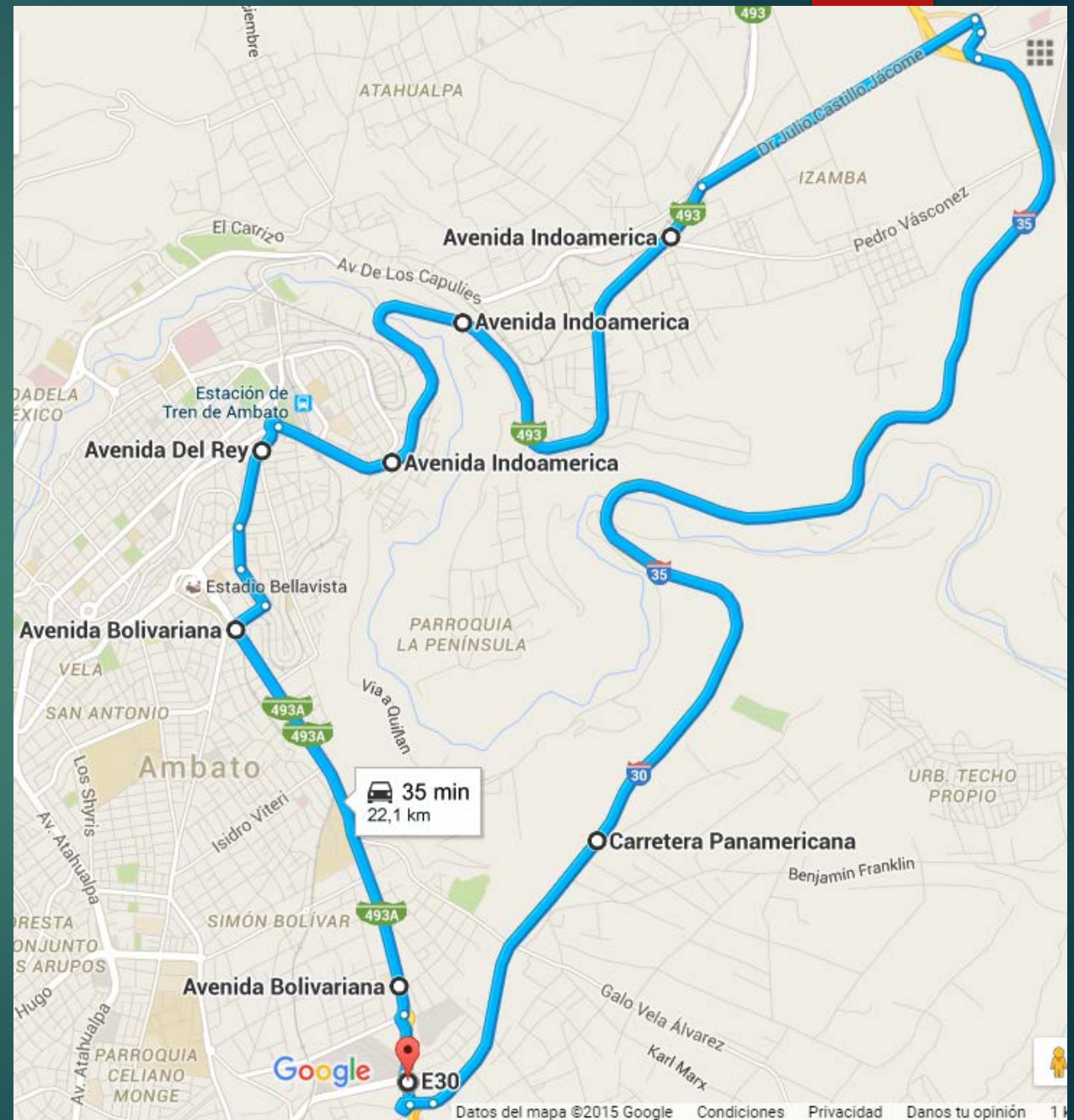


Valores máximos			
	Con metanol	Sin metanol	unidad
Momento Normal	141,90	145,40	lb*ft

Prueba de ruta

# Prueba de ruta

Día	Tráfico ligero 20:00	Tráfico Moderad o 14:00	Tráfico Pesado 18:00	Fecha
<b>Semana de evaluación sin el sistema de metanol</b>				
Lunes	X	X	X	06-oct-15
Martes	X	X	X	07-oct-15
Miércoles	X	X	X	08-oct-15
<b>Semana de evaluación con el sistema de metanol</b>				
Lunes	X	X	X	13-oct-15
Martes	X	X	X	14-oct-15
Miércoles	X	X	X	15-oct-15

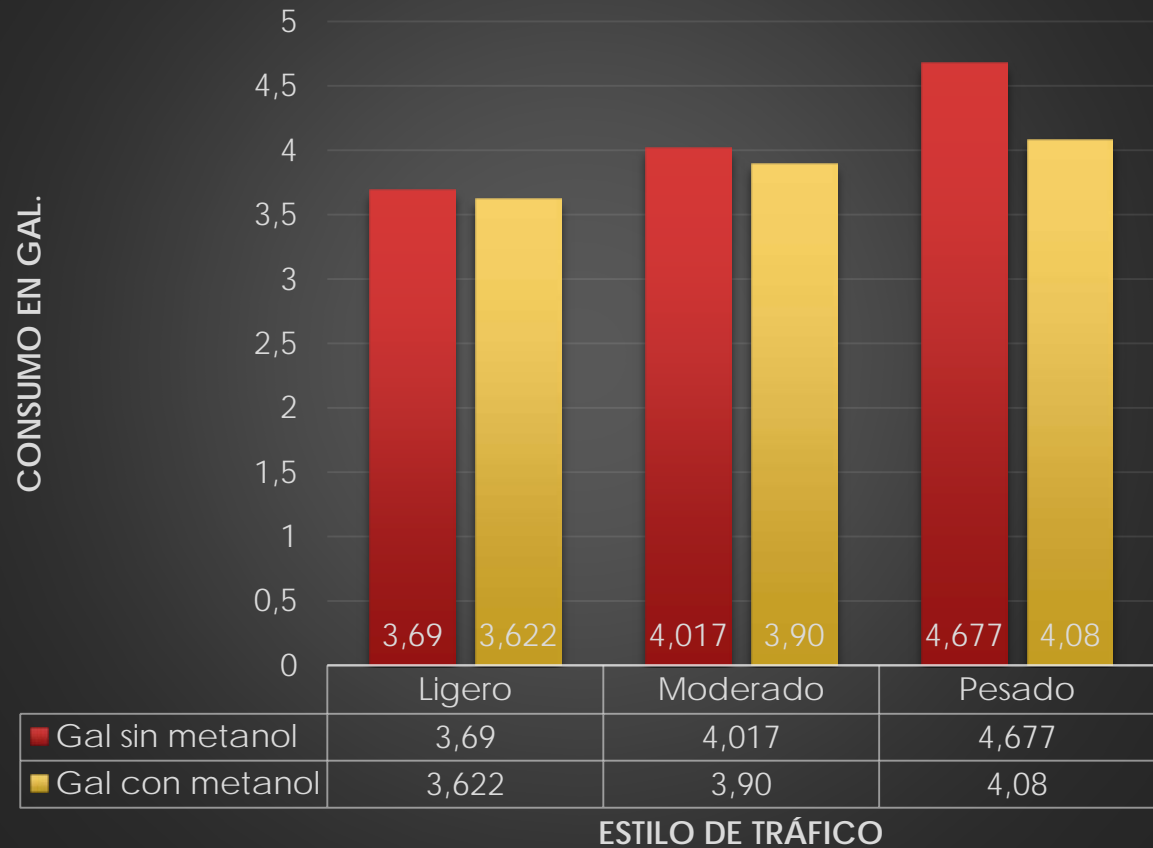


# Resultados de la prueba de ruta

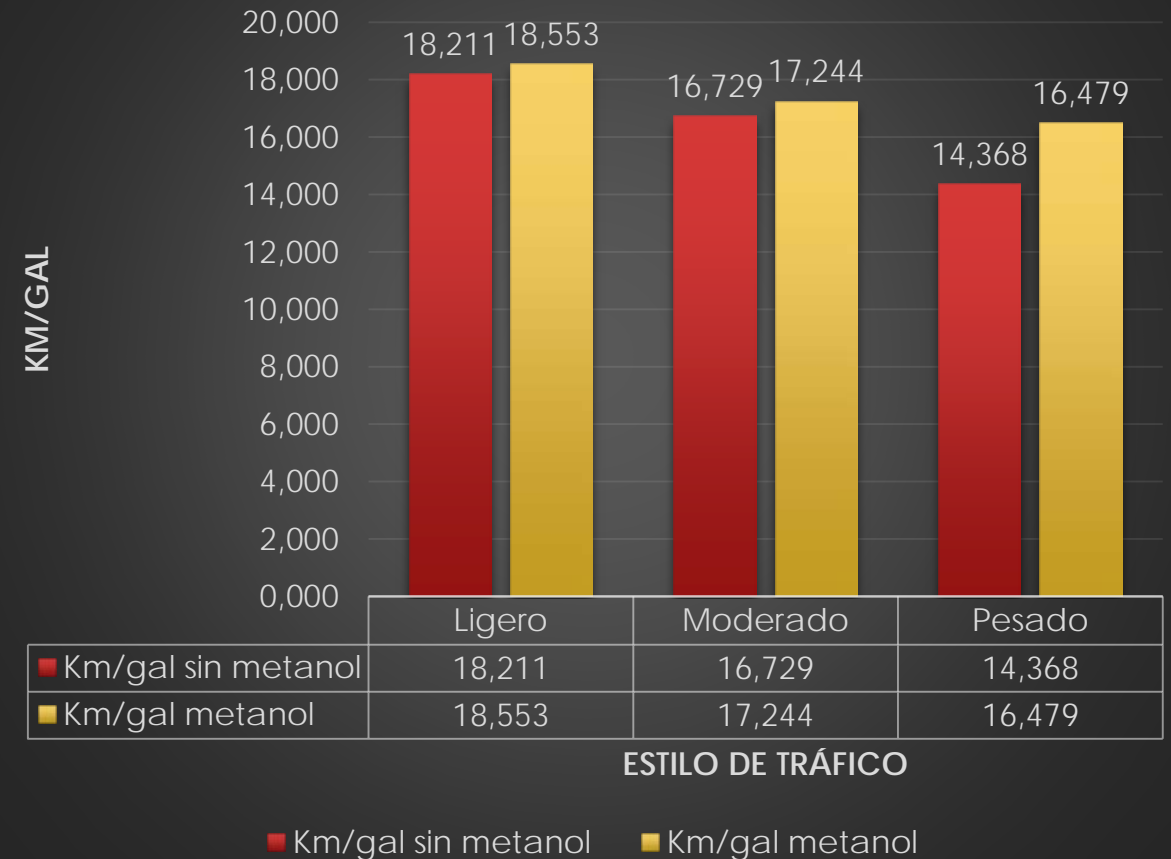
Prueba de ruta sin el consumo de Metanol						
Total recorrido		Consumo	Gal sin metanol	Km/gal	Gal/100 Km	L/100 Km
Km	201,6					
Total consumido		Ligero	3,69	18,211	5,491	20,786
Gal	12,384	Moderado	4,017	16,729	5,978	22,628
USD	\$ 24,64	Pesado	4,677	14,368	6,960	26,346
Duración	6:06:02	General	12,384	16,279	6,143	23,253

Prueba de ruta con el consumo de Metanol						
Total recorrido		Consumo	Gal con metanol	Km/gal	Gal/100 Km	L/100 Km
Km	201,6					
Total consumido		Ligero	3,622	18,553	5,390	20,403
Gal	11,597	Moderado	3,90	17,244	5,799	21,952
USD	\$ 23,08	Pesado	4,08	16,479	6,068	22,972
Duración	6:11:37	General	11,597	17,384	5,752	21,775

## Diferencia del consumo con y sin el uso de metanol (galones)



## Diferencia del consumo Con y sin el uso de metanol (Km/gal)



# Comparación de consumo con y sin el uso del sistema de inyección de metanol

Detalle	Km recorridos	Galones	USD
<b>Consumo sin metanol</b>			
Consumo sin metanol	201,6	12,384	\$ 24,64
<b>Consumo con metanol</b>			
Consumo con metanol	201,6	11,597	\$ 23,08
<b>Costo metanol</b>			
Detalle	Km recorridos	Galones	USD
Costo metanol	201,6	0,37052012	\$ 0,50
<b>Relación de consumo con y sin el sistema de Metanol</b>			
Diferencia		0,787	\$ 1,07
<b>Ahorro</b>			
		6,35%	4,33%



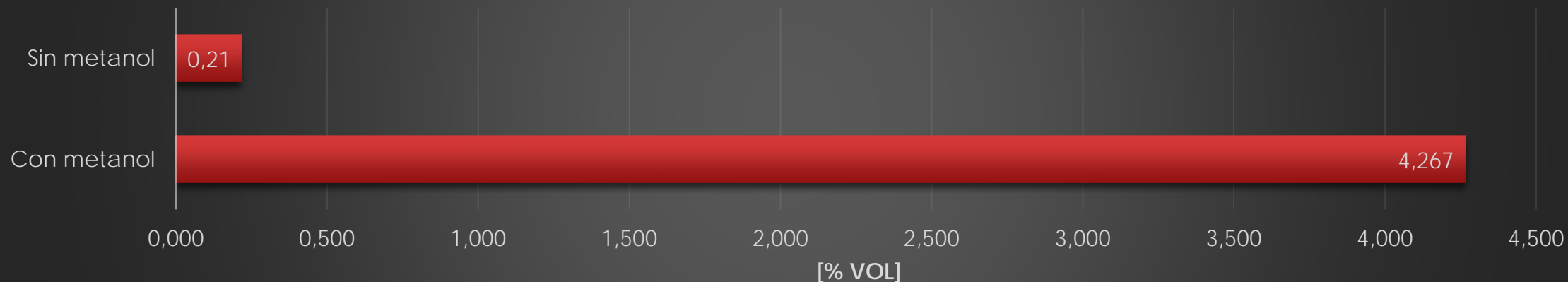


# Análisis de gases

PRUEBA ASM 2525 Y ASM 5015

# Ciclo ASM 2525

## Monóxido de carbono ( CO ) ASM 2525

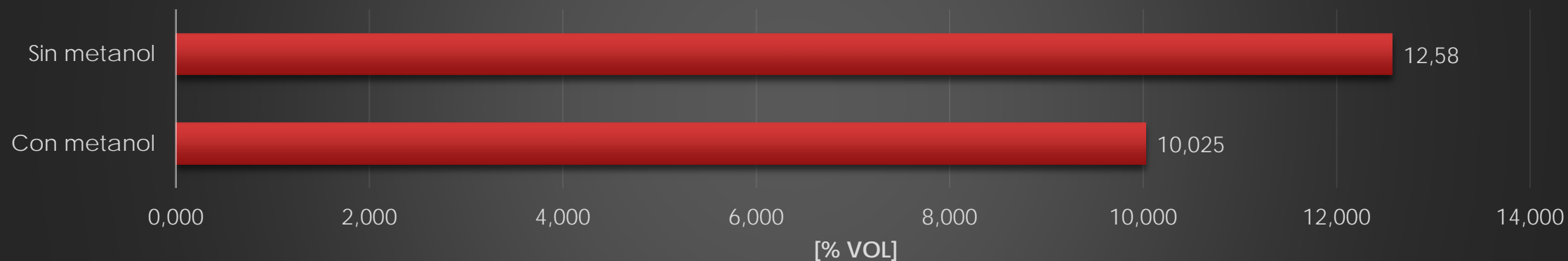


## Monóxido de carbono ( CO ) ASM 5015

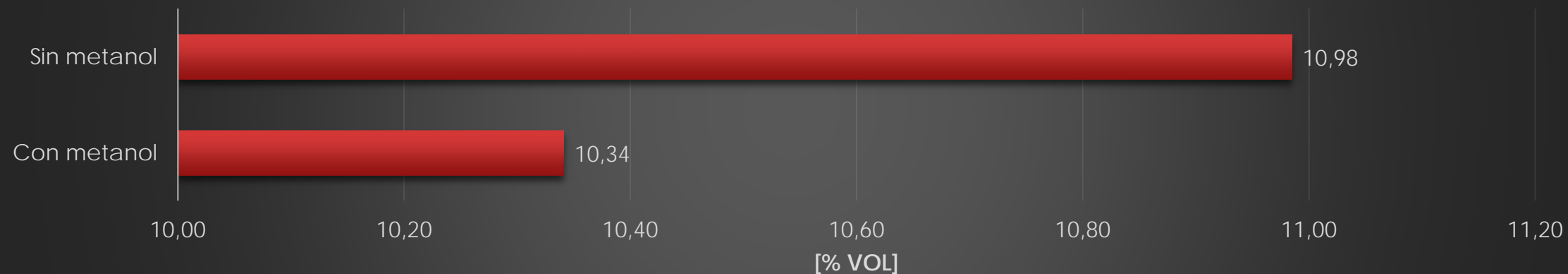


# Ciclo ASM 2525

## Dioxido de carbono (CO<sub>2</sub>) ASM 2525

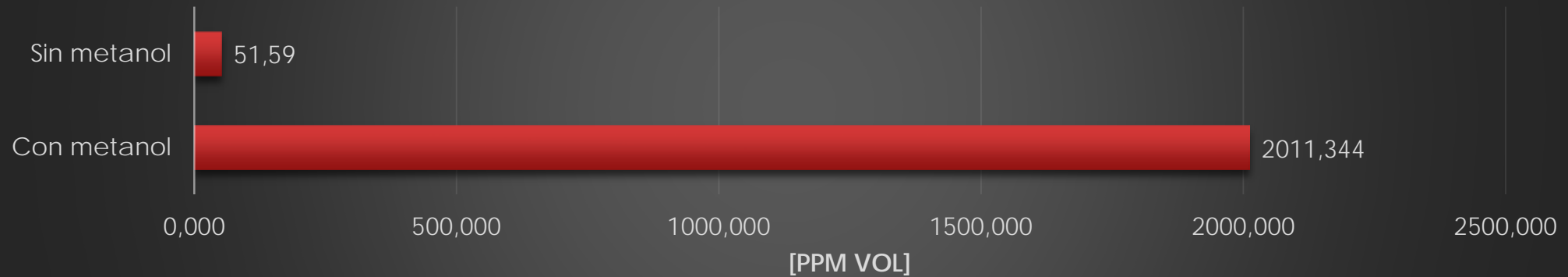


## Dioxido de carbono ( CO<sub>2</sub> ) ASM 5015

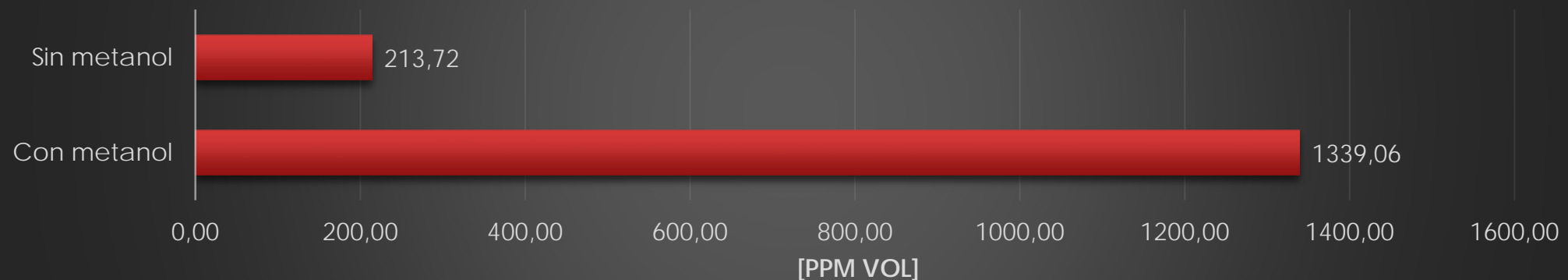


# Ciclo ASM 2525

## Hidrocarburos ( HC ) ASM 2525

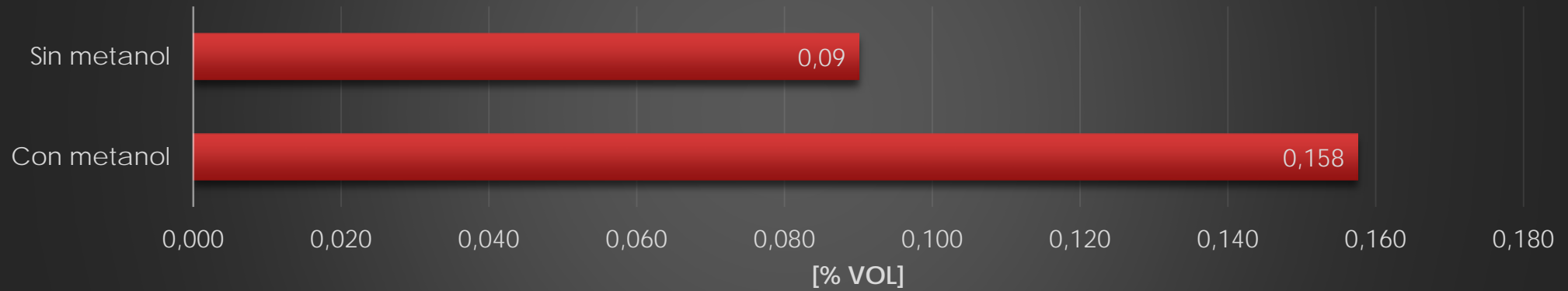


## Hidrocarburos ( HC ) ASM 5015

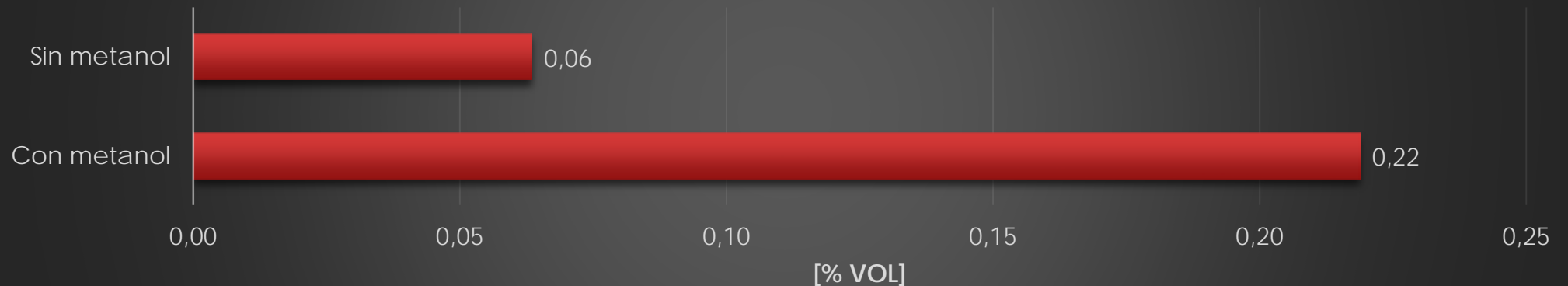


# Ciclo ASM 5015

## Oxigeno libre ( O2 ) ASM 2525

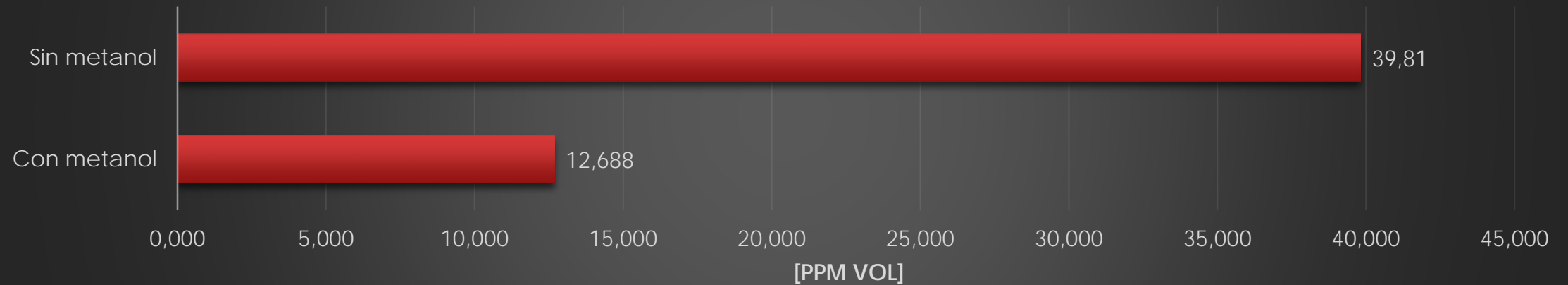


## Oxigeno libre (O2) ASM 5015

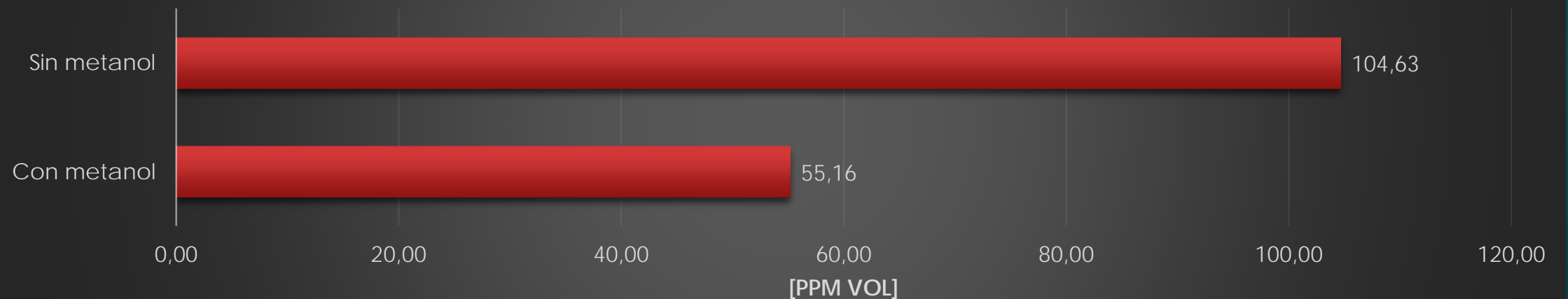


# Ciclo ASM 5015

## Radicales Nitrogenados ( NOx ) ASM 2525

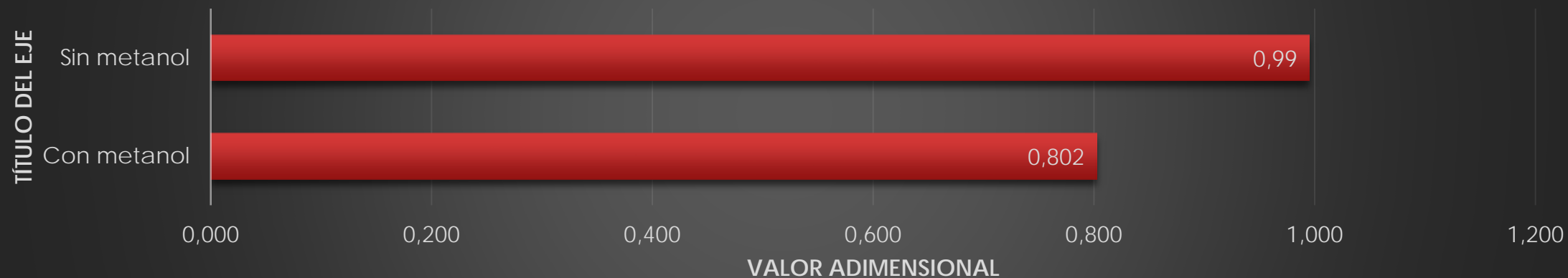


## Radicales Nitrogenados ( NOx ) ASM 5015

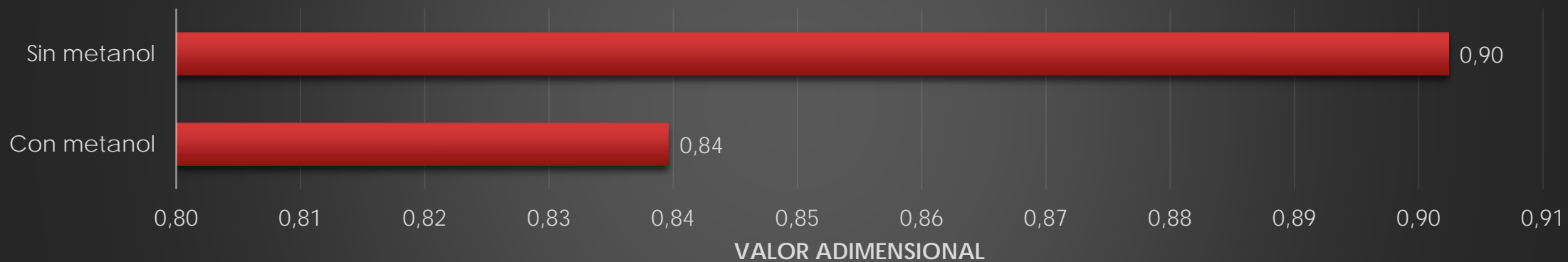


# Ciclo ASM 5015

## Factor Lambda ASM 2525



## Factor Lambda ASM 5015



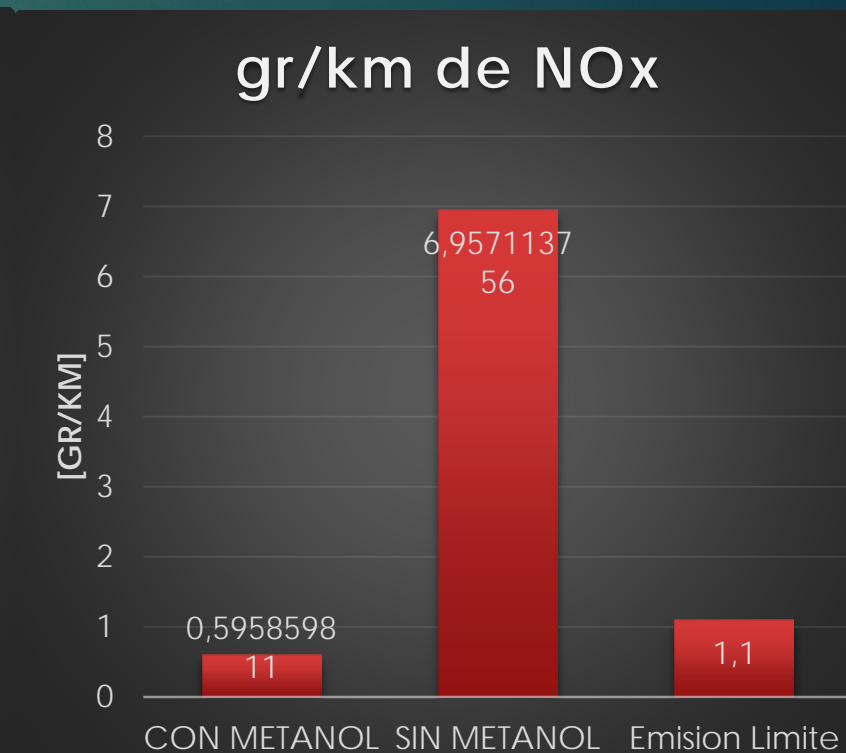
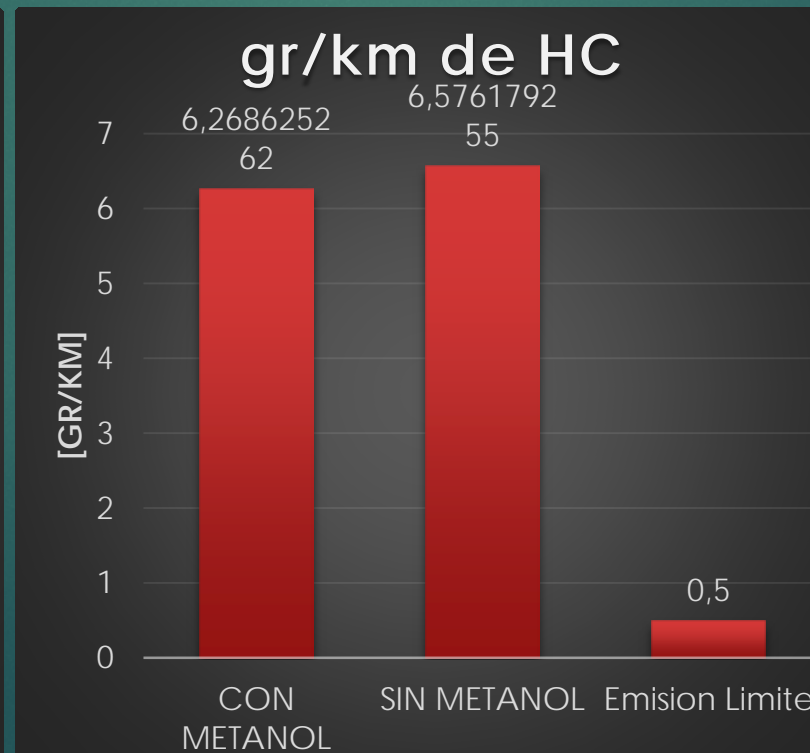
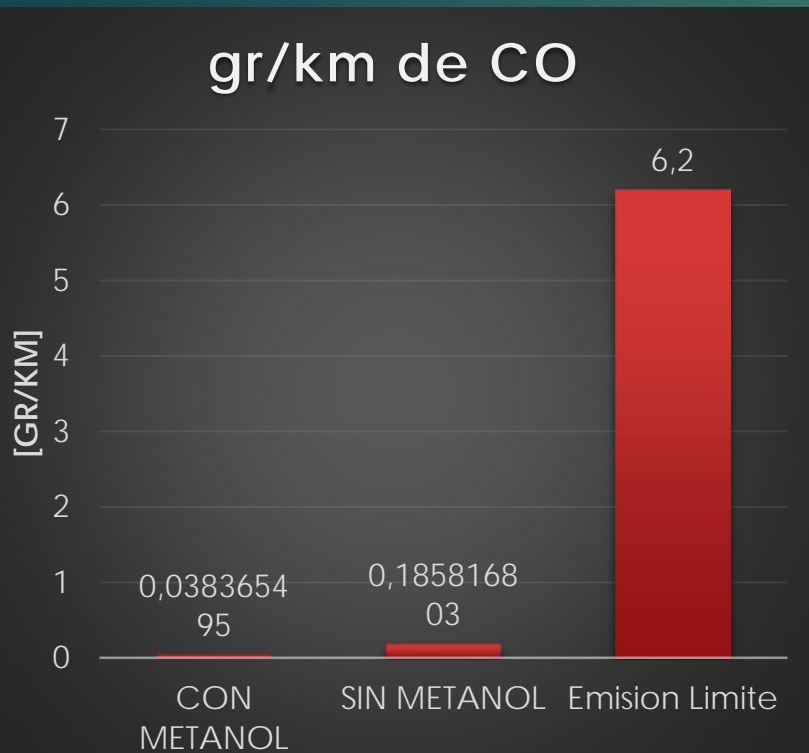
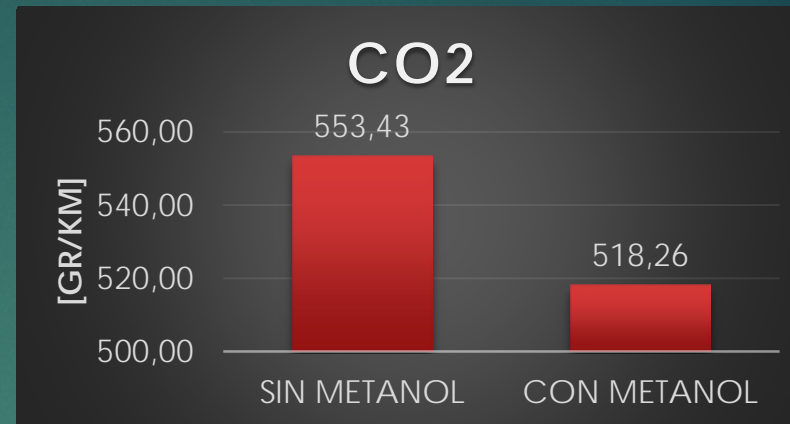
# Análisis de concentraciones

- ▶ Cálculo de concentraciones de CO<sub>2</sub> con respecto al consumo de combustible
- ▶ Cálculo de concentraciones de CO, HC, NO<sub>x</sub>, con respecto a la concentración de CO<sub>2</sub> y consumo de combustible
- ▶ Comparación con la norma NTE INEN 2204:2002



# Concentraciones gr/km

Concentración de gramos por kilómetro recorrido			
gr/m3	CON METANOL	SIN METANOL	LÍMITE MÁXIMO
CO2	518,26	553,43	-
CO	0,03836549	0,185816803	6.2
HC	6,26862526	6,576179255	0.5
NOx	0,59585981	6,957113756	1.1



# CONCLUSIONES

# Conclusiones

- ▶ El sistema de inyección de metanol implementado para analizar la influencia en el rendimiento del motor en parámetros de potencia y consumo, está diseñado para adaptarse al vehículo HYUNDAI SANTA FÉ 4WD 2.7 litros mediante el uso de un acople hermético en la admisión de aire dentro del habitáculo del motor y es abastecido del fluido en estudio por medio de una bomba regulada por un módulo ubicado en el panel de instrumentos, captando así el metanol desde un tanque de almacenamiento ubicado en la parte posterior del automóvil y llevado por una cañería hasta el compartimiento del motor.
- ▶ El uso de un circuito controlador del encendido permite aislar al sistema de inyección de metanol implementado, en relación al resto del vehículo, de tal manera que puede encenderse a disposición de la persona que maneja, indicando en qué momento se está llevando a cabo la dosificación del metanol.
- ▶ Los resultados obtenidos mediante la evaluación de la potencia del vehículo, luego de ser sometido a la prueba en el dinamómetro de rodillos muestra que se logró mejorar la potencia normal en 10 %, optimizando la potencia a la rueda y la potencia motor en 4% y 11% respectivamente hasta las 3000 RPM.

# Conclusiones

- ▶ La disminución del factor lambda (de 0.99 a 0.88 en la prueba ASM 2525 y de 0.9 a 0.84 en la prueba ASM 5015) indica que la inyección de metanol en la admisión de aire contribuye para obtener una mezcla rica, teniendo en cuenta que se está inyectando la misma cantidad de combustible durante el funcionamiento estándar del motor y con el uso del sistema de inyección del fluido en estudio.
- ▶ Mediante la prueba de gases dinámica, los índices de emisión de monóxido de carbono, hidrocarburos, y oxígeno molecular (CO, HC, y O<sub>2</sub>), aumentan tanto en la prueba ASM 2525, así como también en la prueba ASM 5015, debiéndose a que con el uso del metanol pulverizado en la admisión de aire, la composición estequiométrica aire/combustible corresponde a una mezcla "rica" demostrada en la variación del valor lambda obtenido mediante la misma prueba mostrando al igual disminución en los valores Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).
- ▶ El aumento de valores de Monóxido de carbono y de oxígeno molecular (CO y O<sub>2</sub>) son resultados exclusivos debido al uso de una mezcla rica para la combustión caracterizada por la inyección del metanol pulverizado.

# Conclusiones

- ▶ Los Hidrocarburos no combustionados aumentan considerablemente en ambos ciclos de prueba (ASM 2525 y ASM 5015) denotando que se está dando una combustión incompleta, esto debido a la disminución de la temperatura de la combustión; cuando se reduce el calor generado por la combustión, las paredes de los cilindros se encuentran a menor temperatura y es en esta frontera donde los hidrocarburos no encuentran el oxígeno necesario para encenderse.
- ▶ Los índices de NOx son indicativos de la temperatura de la combustión, y mediante el análisis dinámico de gases se determinó que al usar metanol se disminuye la emisión de este contaminante, refrigerando directamente la combustión de la gasolina dentro del cilindro.
- ▶ La concentración de gramos por kilómetro recorrido que se obtuvo con y sin el uso de metanol en comparación con la legislación ecuatoriana postulada en la norma NTE INEN 2204:2002 indica que las emisiones correspondientes al monóxido de carbono y Óxidos nitrogenados (CO y NOx) se encuentran bajo el rango permitido, mientras que la producción de hidrocarburos sobrepasa los límites de emisiones aceptadas.

# Conclusiones

- ▶ Mediante la prueba de ruta, se obtiene como resultado la disminución en el consumo de galones de combustible en un 6.35%, comprobando la efectividad del metanol como aditivo elevador de octanaje, ahorrando el 4.33% del valor invertido en dólares tomando en cuenta el costo del metanol.
- ▶ Luego de enlazar los resultados de la prueba de ruta (consumo de combustible) y el análisis de emisión de gases (prueba dinámica ASM 5015) se llegó a obtener la emisión de contaminantes con respecto al valor de CO<sub>2</sub> que se está eliminando mediante la combustión, llevándonos a evidenciar la disminución del desecho de CO, HC, y NO<sub>x</sub> al ambiente al momento de usar el sistema de inyección de metanol.
- ▶ El valor de emisión por kilómetro recorrido de Hidrocarburos no combustionados (HC) con el uso de la inyección de metanol presenta una disminución en relación a la aspiración natural debido a que el valor en galones de combustible consumido es menor que los galones que se está consumiendo cuando existe aspiración natural de aire.
- ▶ De igual manera que con los (HC), se evidencia una disminución de la emisión por kilómetro recorrido de monóxido de Carbono (CO) y de Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>) evidenciando que la aspiración de metanol contribuye para la disminución del consumo de combustible, así como también, para disminución de los contaminantes resultantes de la combustión.

# Recomendaciones

- ▶ Para la obtención de la potencia máxima resulta indispensable el uso de un dinamómetro calibrado para vehículos con transmisión automática, ya que el módulo de control de la caja (PCM ó TCM), restringe por seguridad la subida abrupta de revoluciones al no detectar movimiento en las ruedas traseras
- ▶ Implementar la inyección de metanol a automotores con transmisión de tipo manual para evaluar el comportamiento del sistema de propulsión frente al porcentaje de resistencia a la pendiente debido a las condiciones propias de la topografía de nuestro país.
- ▶ Adaptar el sistema de inyección de metanol aplicado a vehículos turboalimentados, ya sean estos funcionales con ciclo Otto o Diesel, con la finalidad de evaluar los parámetros de rendimiento del motor bajo condiciones de sobrealimentación de aire.

# Recomendaciones

- ▶ Es posible regular la inyección de gasolina conjuntamente con la dosificación de metanol encontrando un punto donde el factor lambda sea más cercano a los parámetros ideales, esto con la finalidad de obtener una posible disminución de los gases residuales y un probable ahorro de combustible superior que el obtenido en este estudio
- ▶ La aplicación de metanol en la combustión reduce la temperatura en el quemado de la gasolina, razón por la cual se abre un estudio de materiales de conformación de blocks y cabezotes ya que el cambio de temperatura produce una diferente fatiga térmica a estos elementos.
- ▶ Otra motivo de estudio resultante debido a la disminución de la temperatura de la combustión, es la evaluación del comportamiento de la película de aceite que protege el cilindro, la degradación del aceite sería menor debido a la reducción en la temperatura y así mismo la densidad del aceite tendría un comportamiento diferente.