



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

INVESTIGACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA EMULSIÓN DIÉSEL-AGUA AL 5-10-15 Y 20 % CON EL USO DE SURFACTANTE PARA DETERMINAR SU INFLUENCIA EN LOS PARÁMETROS MECÁNICOS Y TÉRMICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

AUTOR: DIEGO ROBERTO PUCUJI PILLAJO

DIRECTOR: ING. GERMÁN ERAZO

2016





OBJETIVOS

Objetivo general: Investigar el potencial energético de la emulsión diésel/agua al 5-10-15 y 20 % con el uso de surfactante para determinar su influencia en los parámetros mecánicos y térmicos del motor de combustión interna.

Objetivos específicos

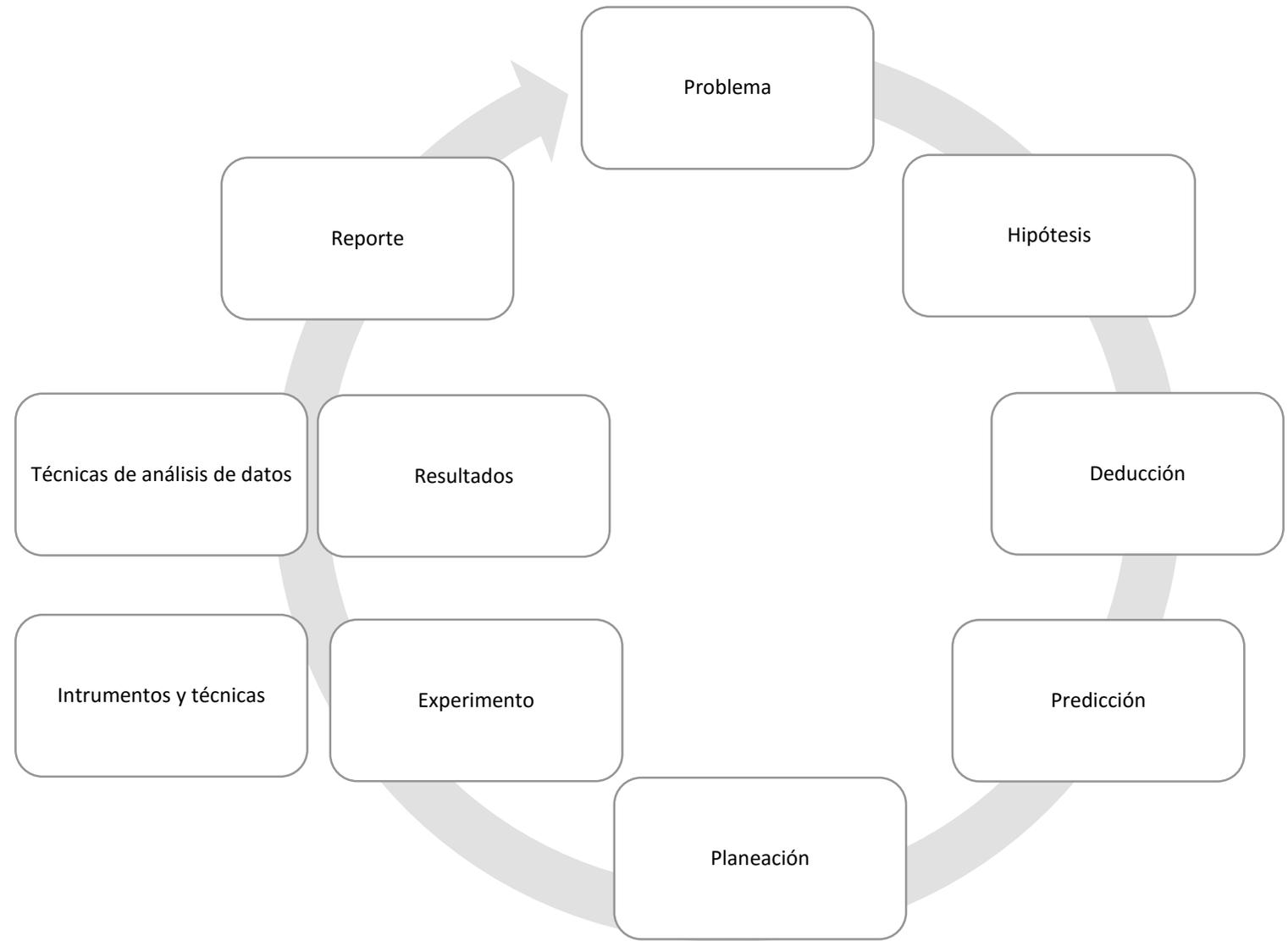
- Obtener la información teórica de fuentes confiables para el desarrollo del proyecto de investigación.
- Realizar las emulsiones de diésel y agua al 5, 10, 15 y 20 % con la utilización de surfactante.
- Obtener y analizar los valores de densidad, viscosidad, valor calorífico del diésel y de cada una de las muestras en sus diferentes porcentajes de agua.
- Elaborar el protocolo de pruebas para el uso de cada una de las muestras de combustible en el banco de pruebas PLINT TE-16.
- Obtener valores característicos mecánicos, térmicos y de opacidad, en funcionamiento con diésel y muestras de diésel emulsionado.
- Realizar un análisis de los parámetros mecánicos y térmicos obtenidos de las pruebas en funcionamiento con cada una de las muestras de combustible.
- Elaborar un informe de los resultados obtenidos y emitir conclusiones para demostrar su factibilidad.





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

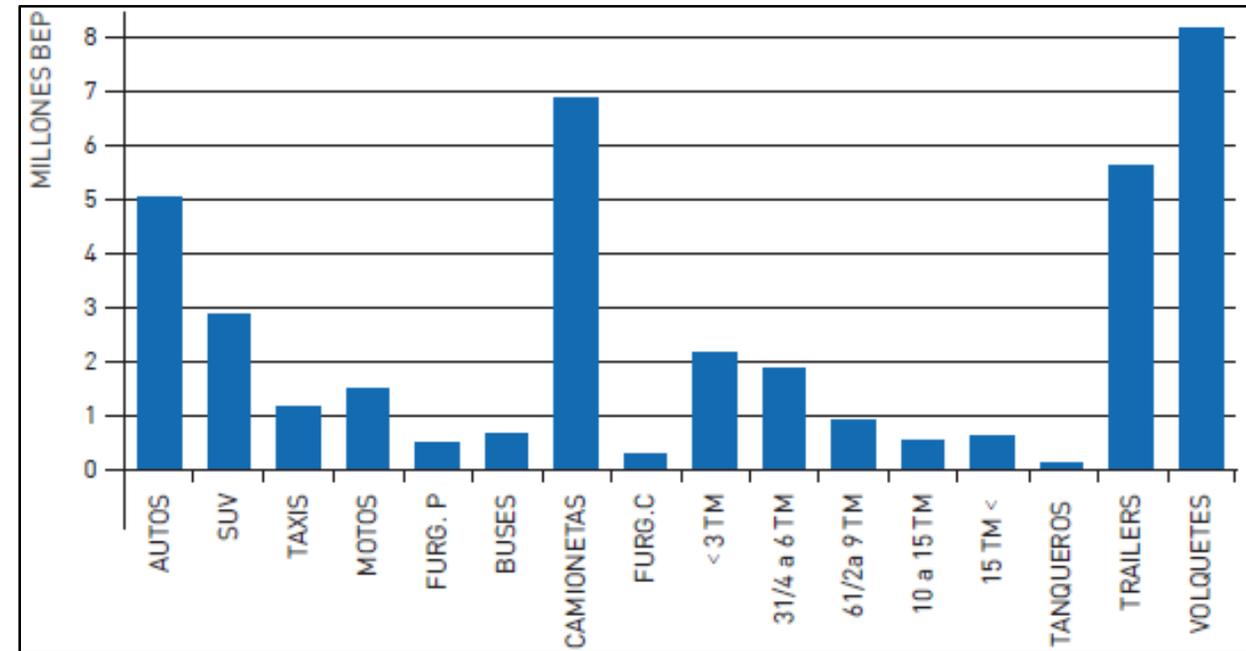
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN





ANTECEDENTES

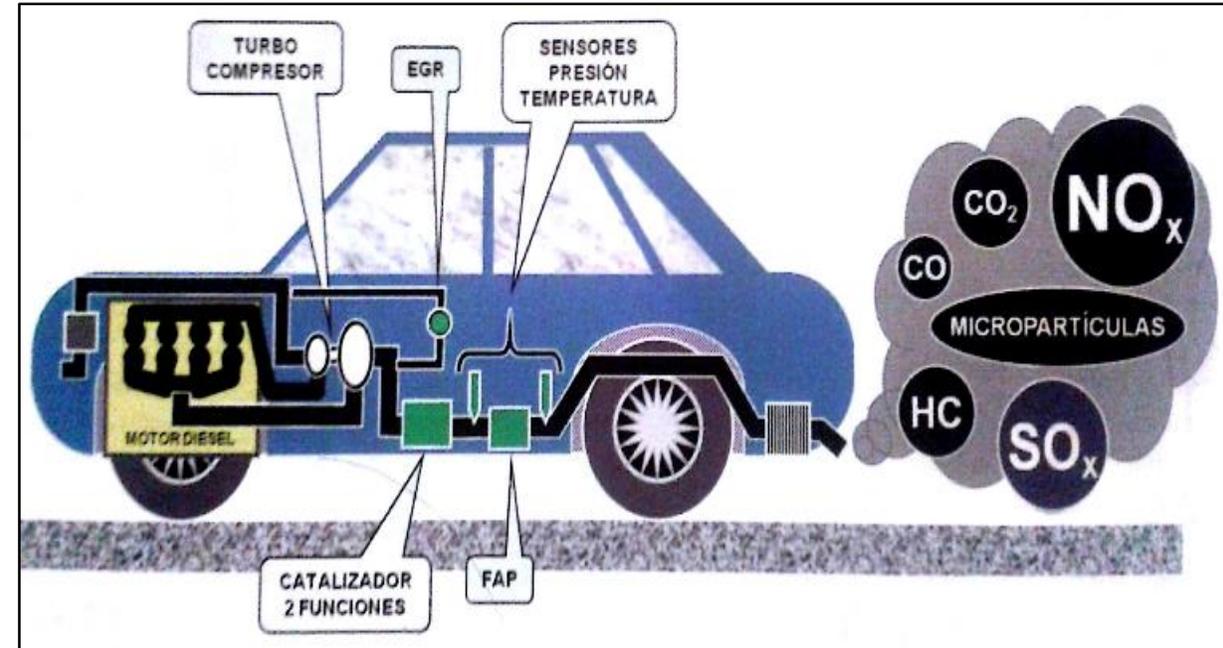
“El transporte es una de las actividades con mayor demanda energética según la (International Energy Agency, 2012) dice que **consume más del 50%** de la demanda mundial de petróleo. Además menciona que hasta el 2010, el sector del transporte ha sido el consumidor de energía predominante en el Ecuador utilizando un **50% de la demanda nacional**”. (Ecuador. Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, 2015)





PROBLEMA

Una posibilidad para reducir la contaminación son los biocombustibles aunque un inconveniente es el deforestar zonas para cultivar, siendo así, las investigaciones continúan para la búsqueda de alternativas que encaje en el desarrollo sostenible y equilibrado (Orovio, 2010).





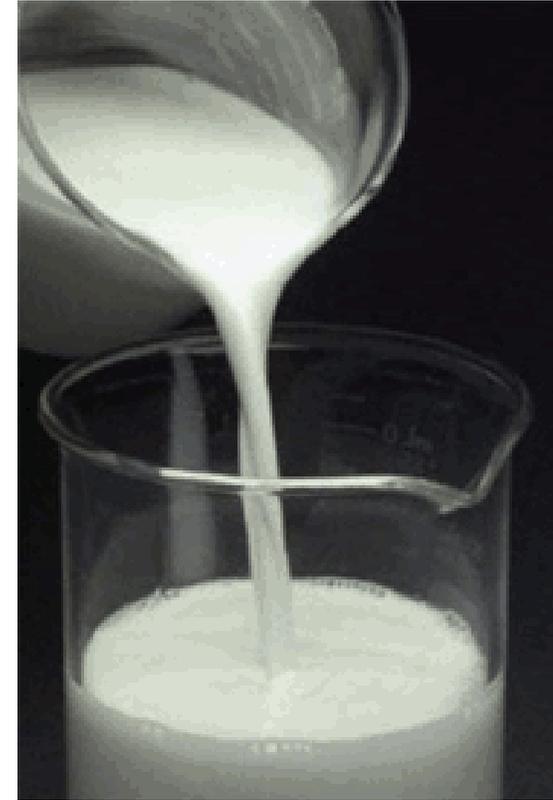
COMBUSTIBLES PARA MOTORES DIESEL

Combustibles de origen fósil

Biodiesel

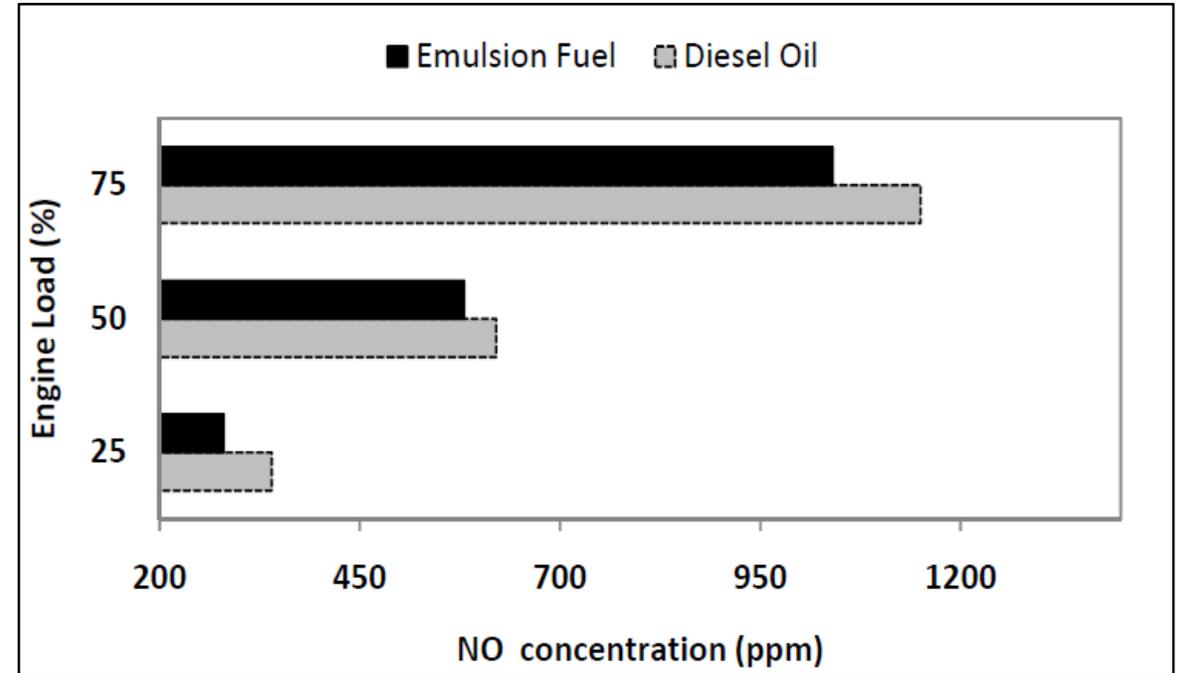
Emulsiones

Es la estabilización del agua u otra sustancia no miscible en el diésel, para lo cual se utilizan emulsionantes, el objeto de ello es evitar una desemulsificación, (Bosch, 2005).





Con la utilización de las emulsiones pueden rebajarse las **emisiones de hollín y óxidos de nitrógeno**, ya que la mezcla es más frías debido a la proporción de agua (Bosch, 2005).



(Sudrajad, et al, 2011), *THERMAL SCIENCE*
10 % de agua, 89% de diesel, y 1% de surfactante





(Lif & Holmberg, 2006)

- Resulta en la reducción del nivel de NOx formados.
- Usado sin modificaciones en el motor

(Kannan & Rakkiyanna, 2011)

- Mejoramiento de la eficiencia térmica al freno.
- Reducción de los gases contaminantes como los NOx y los HC.





Propiedades de combustibles emulsionados

Tipo de combustible	Densidad kg/m ³	Valor calorífico kJ/kg
Diésel	830	42500
Biodiesel	860	41032
Biodiesel + 5% W	867	38665
Biodiesel + 10% W	874	36337
Biodiesel + 15% W	881	34046
Biodiesel + 20% W	888	31791

Fuente: (Kannan & Marappan, 2011)

(Dantas, et al, 2011) detalla:

Los resultados experimentales presenta que la densidad y viscosidad es mayor que los obtenidos por el diésel puro.





SURFACTANTES

Bernabé, (2007) explica: “Los surfactantes son compuestos que se concentran o acumulan en la interface entre dos medios, alterando la tensión superficial”.

Existen cinco diferentes interfaces:

- Sólido – vapor (superficie)
- Sólido – líquido
- Sólido – sólido
- Líquido – vapor (superficie)
- **Líquido – líquido**

Ejemplos de interfaces involucrando una fase líquida

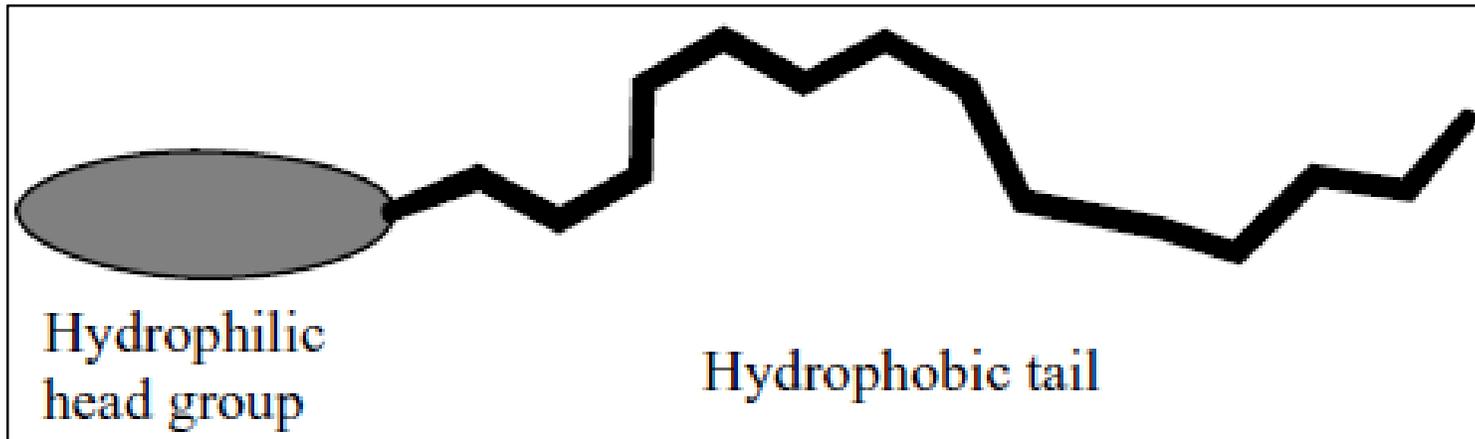
Interface	Tipo de sistema	Producto
Sólido – líquido	Suspensión	Solvente de Pintura
Líquido – líquido	Emulsión	Leche, crema
Líquido – Vapor	Espuma	Crema de afeitado

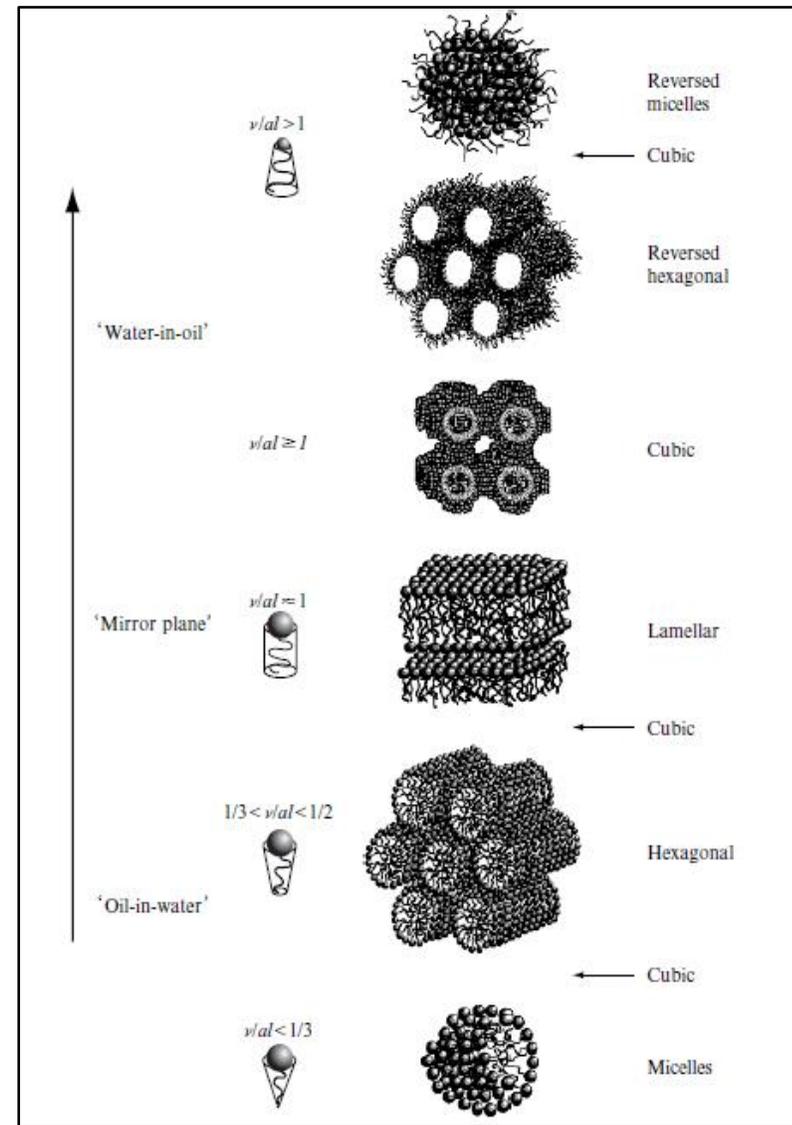
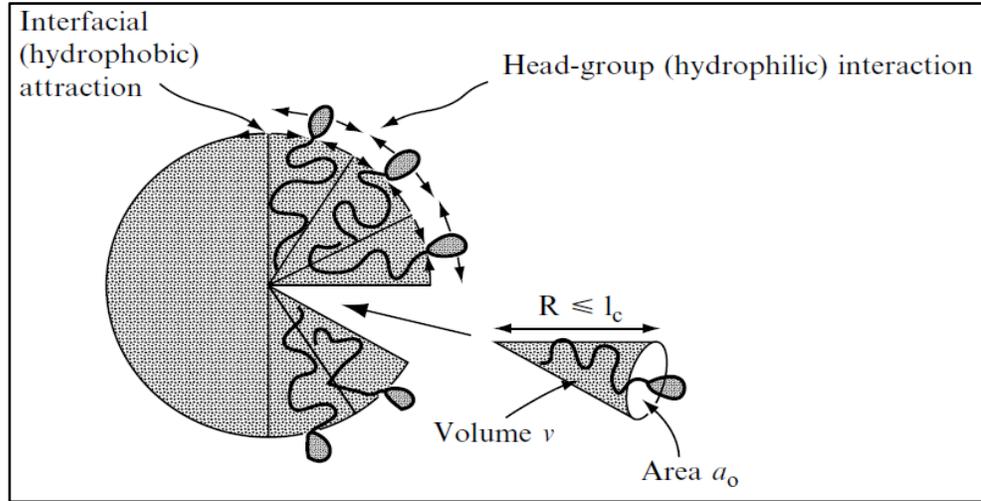
Fuente: (Holmberg, Jönsson, Kronberg, & Lindman, 2003)





Los surfactantes poseen una constitución molecular típica, esencialmente lineal y asimétrica, con dos zonas, una hidrofóbica y otra hidrófila.







La clasificación primaria de los tensoactivos es hecha en base de la carga del grupo de cabeza polar.

- **Aniónicos.**
- **Catiónicos.**
- **No – Iónicos.**
- **Zwitterionicos.**

Tensoactivos No – Iónicos

Estas sustancias forman soluciones acuosas en las que las interacciones energéticas moleculares **son menos complejas** y de menor magnitud que cuando las sustancias tensioactivas son iónicas.

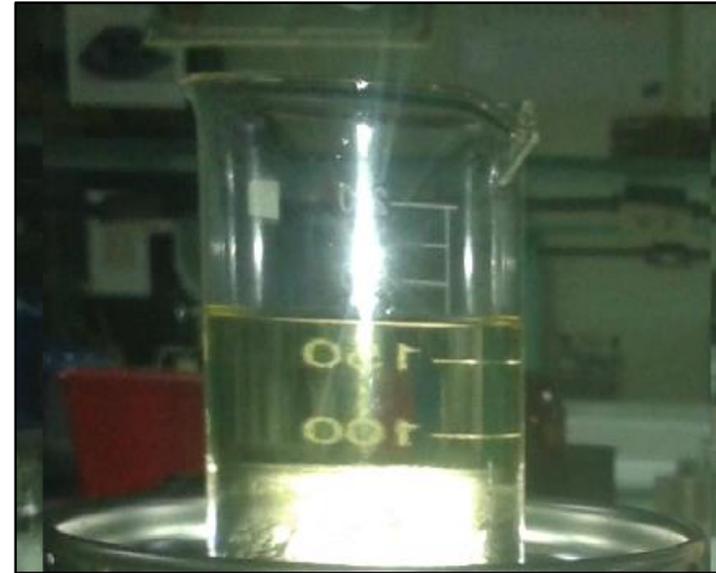




ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

TENSOACTIVOS NO – IÓNICOS

Ácido oleico: Es un ácido graso monoinsaturado de la serie omega 9 típico de los aceites vegetales como el aceite de oliva, del aguacate, etc. Ejerce una acción beneficiosa en los vasos sanguíneos reduciendo el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares.

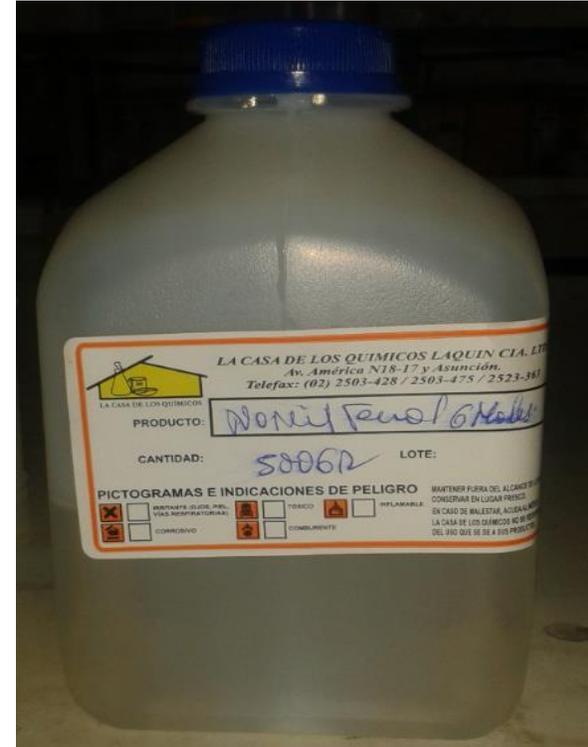




ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Nonil fenol con 6 moles de Óxido de etileno: Este es un agente tensoactivo no iónico basado en nonil fenol, al cual se ha agregado óxido de etileno.

Este es un agente tensoactivo soluble en hidrocarburos ligeros, útil para formular detergentes industriales, emulsificante para agroquímicos y aceites minerales, agente de re-humectación para toallas de papel.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Kolliphor El: Es un solubilizante y emulsificante no iónico hecho por reacción del aceite castor con óxido de etileno

Este tensoactivo es emulsificador o solubilizador de la vitamina A, D, E y K de grasa solubles en soluciones acuosas para administración oral. En soluciones alcohólicas-acuosas es muy fácil solubilizar aceites esenciales (BASF SE, 2012).





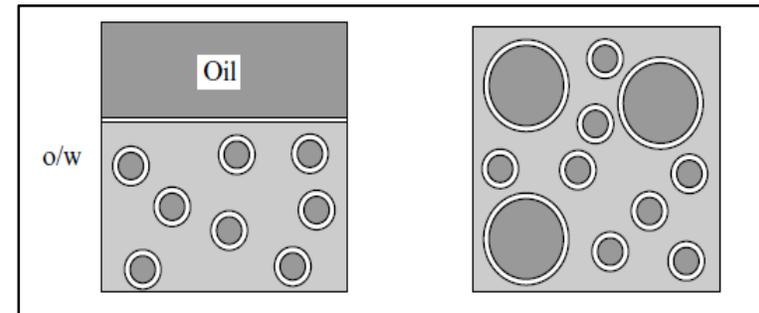
EMULSIONES

Romo, (1993), define: “Una emulsión es un sistema coloidal constituido por dos líquidos inmiscibles en el que uno es la fase continua y el otro la fase discontinua formada por partículas del líquido de diámetros que varía aproximadamente entre $1\ \mu$ y $30\ \mu$ ” (pág. 1).

Emulsiones de agua en líquido orgánico (A/O)

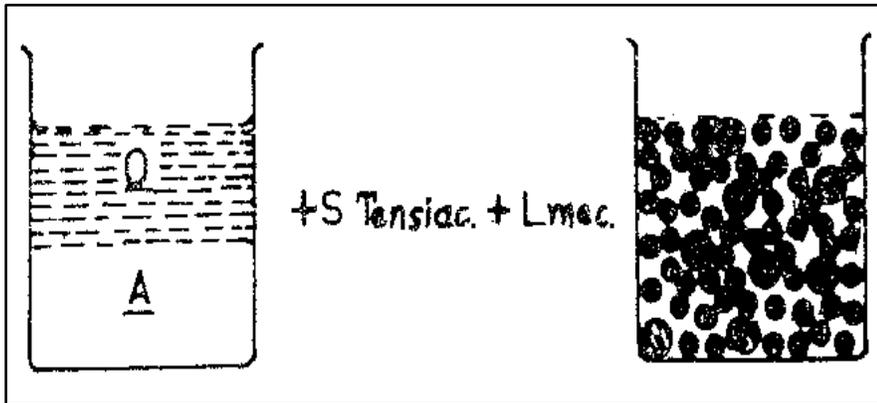


Emulsiones de líquido orgánico en agua (O/A)





MECANISMOS DE FORMACIÓN DE EMULSIONES





BALANCE HIDROFÍLICO LIPOFÍLICO (BHL)

Griffin introdujo el concepto del balance hidrofílico-lipofílico (BHL) de un surfactante, debido a la necesidad de establecer criterios para seleccionar sustancias anfifílicas que puedan conducir a la preparación de una emulsión ya sea esta A/O u O/A.

Escala de Griffin

Esta escala está comprendida entre 1 y 20

Correspondiendo:

1 a 100% lipofílico

y

20 a 100% hidrofílico





Aplicación de una emulsión de acuerdo al BHL

BHL Rango de número	Aplicación
3-6	Emulsificante W/O
7-9	Agente humectante
8-14	Emulsificante O/W
9-13	Detergente
10-13	Solubilizante
12-17	Dispersante

Fuente: (Holmberg, Jönsson, Kronberg, & Lindman, 2003)





BHL requerido para emulsionar

Sustancia	Emulsión A/O	Emulsión O/A
Aceite de algodón		7.5
Parafina líquida	4	10-12
Vaselina	4	10-12
Ácido Esteárico		15-18
Cera de abeja	5	10-16
Lanolina anhidra		10-12
Aceites vegetales		6-10

Fuente: (Oliva i Herrera, 2009)

Los combustibles de origen fósil tiene entre **sus principales componentes parafinas** (Payri & Desantes, 2011, pág. 393).





Raheman, H., & Kumari, S., (2014), calculan el BHL de la mezcla usando las ecuaciones:

$$\%_A = \frac{(BHL - BHL_B) \times 100\%}{BHL_A - BHL_B}$$

$$100\% = \%_A + \%_B$$

Compuesto	BHL
Ácido oleico (B)	1
Nonil fenol de 6 moles de oxido de etileno (A)	10.9
Kolliphor EL	14

$$\%_A = 30.30\%$$

$$\%_B = 69.70\%$$



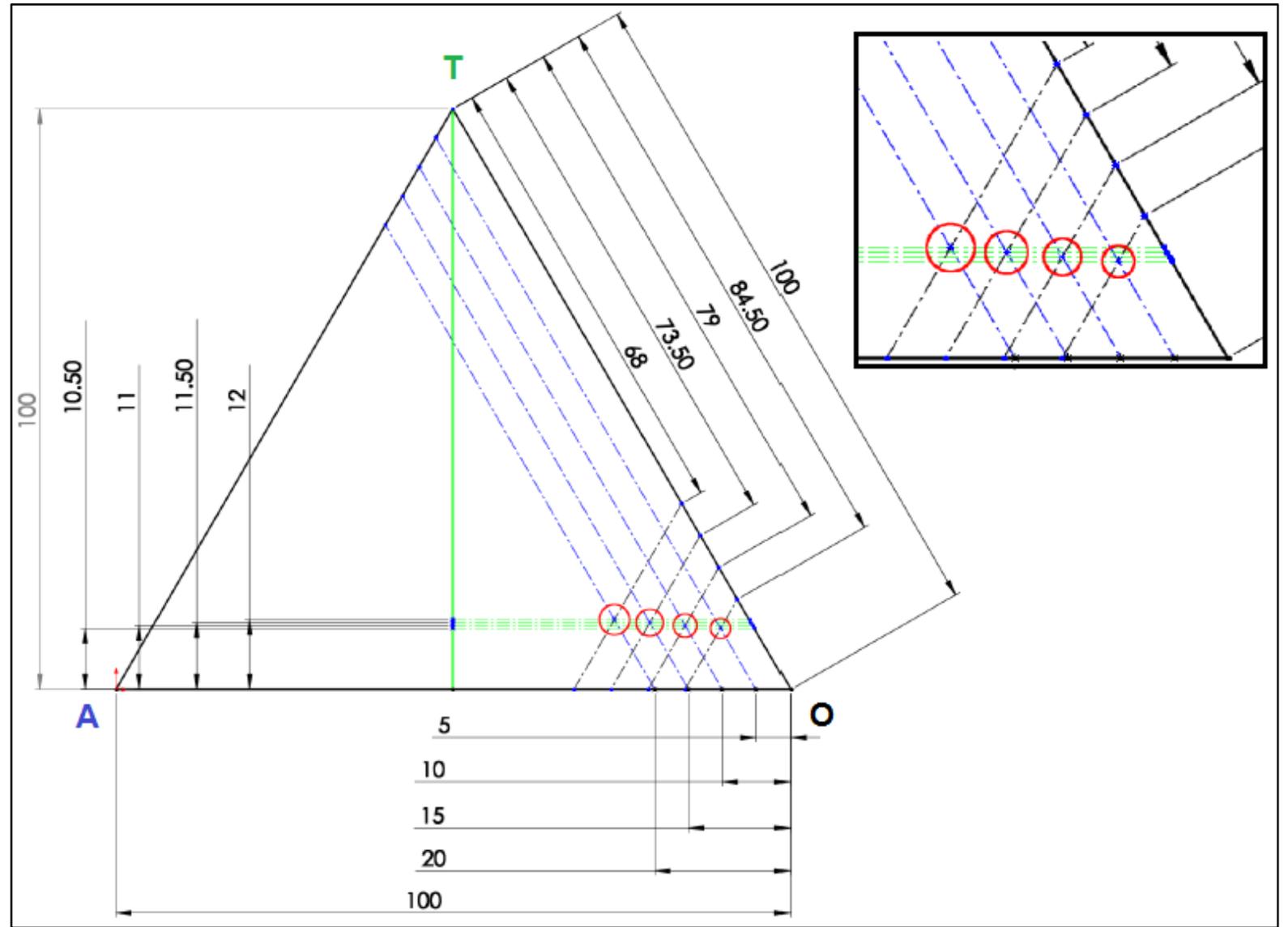


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

EXPERIMENTACIONES Y RESULTADOS

Diagrama trifásico del sistema
diesel/agua/tensoactivo

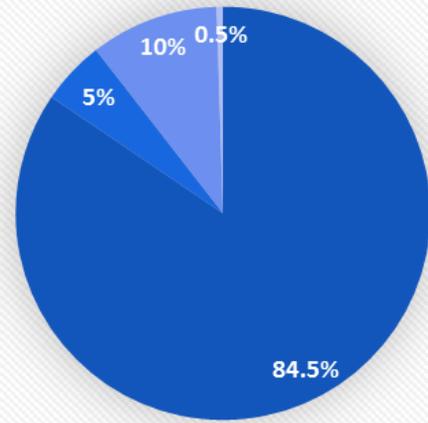
Zona de
microemulsiones





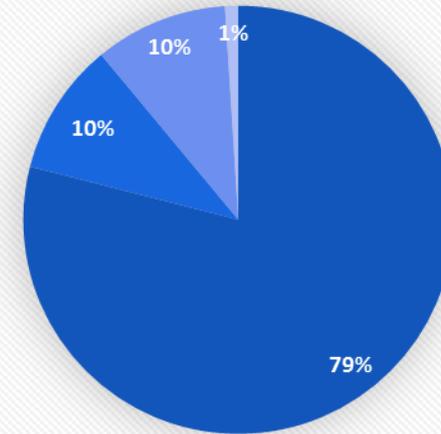
EXPERIMENTACIONES Y RESULTADOS

EMULSIÓN 5 % H2O



■ DIÉSEL ■ AGUA ■ TENSOACTIVO ■ TENSOACTIVO ESTABILIZANTE

EMULSIÓN 10 % H2O



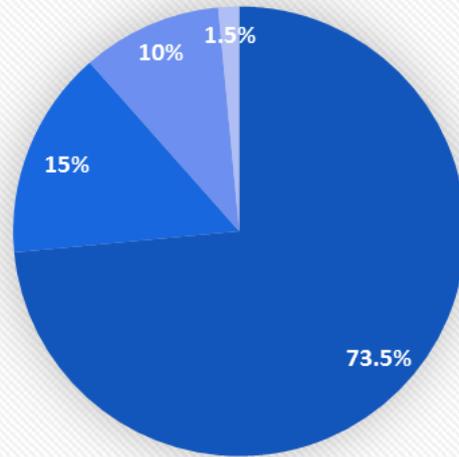
■ DIÉSEL ■ AGUA ■ MEZCLA DE TENSOACTIVOS ■ TENSOACTIVO ESTABILIZANTE





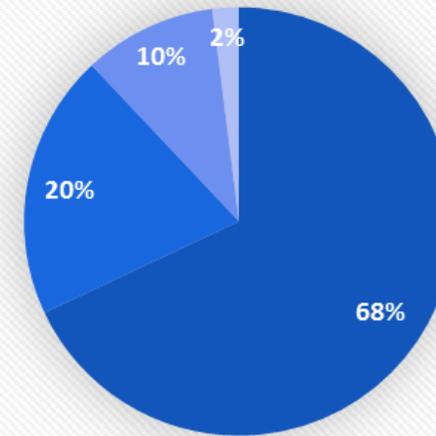
EXPERIMENTACIONES Y RESULTADOS

EMULSIÓN 15 % H2O



■ DIÉSEL ■ AGUA ■ TENSOACTIVO ■ TENSOACTIVO ESTABILIZANTE

EMULSIÓN 20 % H2O



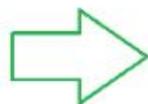
■ DIÉSEL ■ AGUA ■ TENSOACTIVO ■ TENSOACTIVO ESTABILIZANTE





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA





OBTENCIÓN DE DATOS

Parámetro	Equipo/Instrumento	Lugar
Densidad	Picnómetro	Universidad Central del Ecuador Laboratorio de Coloideoquímica
Viscosidad	Baño térmico Huber/Viscosímetro Cannon-Fenske	Universidad Central del Ecuador Laboratorio de Coloideoquímica
Tamaño de partícula	HORIBA SZ-100 (DLS)	Universidad Central del Ecuador Laboratorio de Investigación de nanotecnología
Poder calorífico	Bomba calorimétrica adiabática	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí, laboratorio de Motores de combustión interna
Torque	Banco de pruebas PLINT TE-16	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí, laboratorio de Motores de combustión interna
Potencia	Banco de pruebas PLINT TE-16	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí, laboratorio de Motores de combustión interna
Consumo de combustible	Banco de pruebas PLINT TE-16	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí, laboratorio de Motores de combustión interna
Opacidad	Opacímetro NDO-6000	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí, laboratorio de Motores de combustión interna
Emisiones de gases	Testo 350-XL	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí, laboratorio de Motores de combustión interna



EMULSIONES

Características de emulsiones diesel y agua

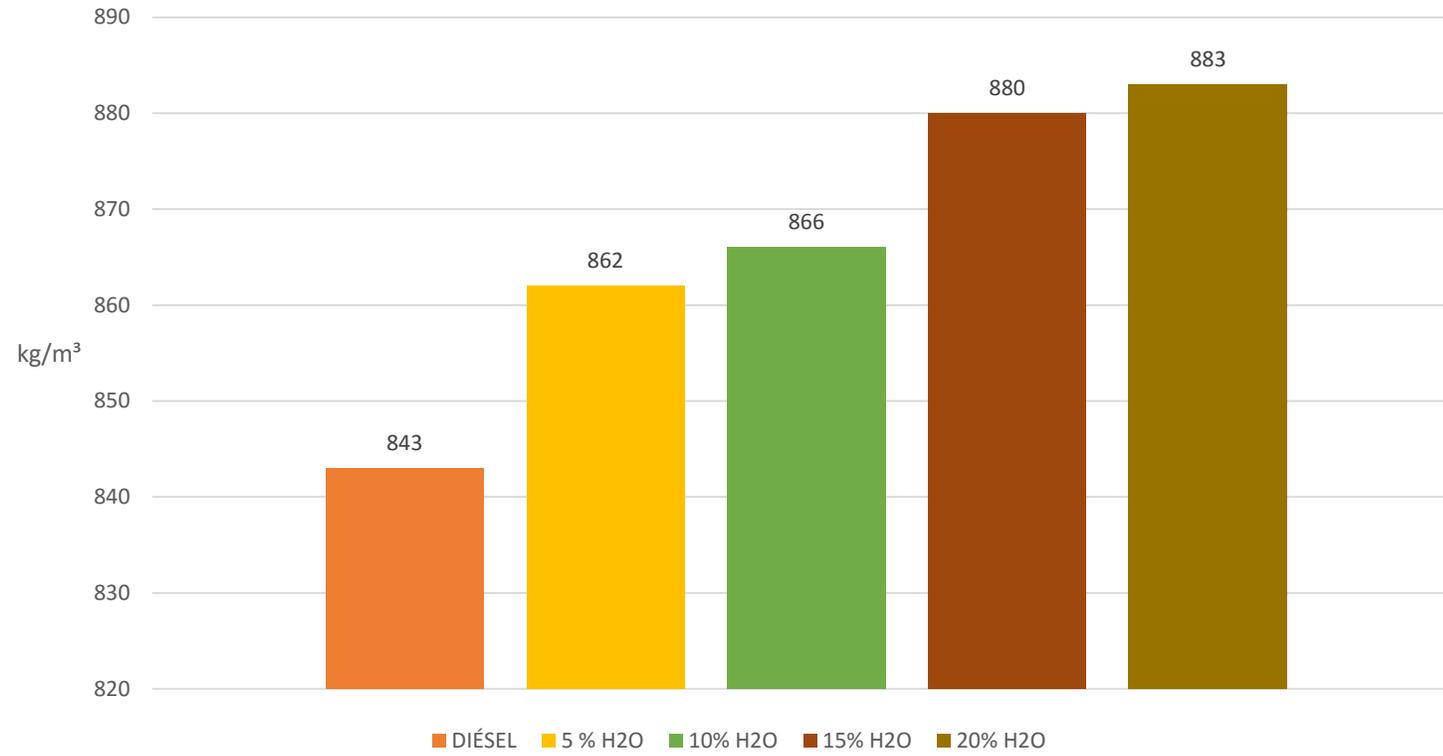
Muestra	Estabilidad observada [Semanas]	Estabilidad a 40°C [Cualitativo]	Tamaño de partícula [nm]	Aspecto [Cualitativo]
Diesel y 5% H2O	4	No existe separación de fases	9.8	Translucida
Diesel y 10% H2O	4	No existe separación de fases	11.2	Traslucido-Lechoso
Diesel y 15% H2O	4	No existe separación de fases	13.2	Lechoso
Diesel y 20% H2O	4	No existe separación de fases	14	Lechoso





PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

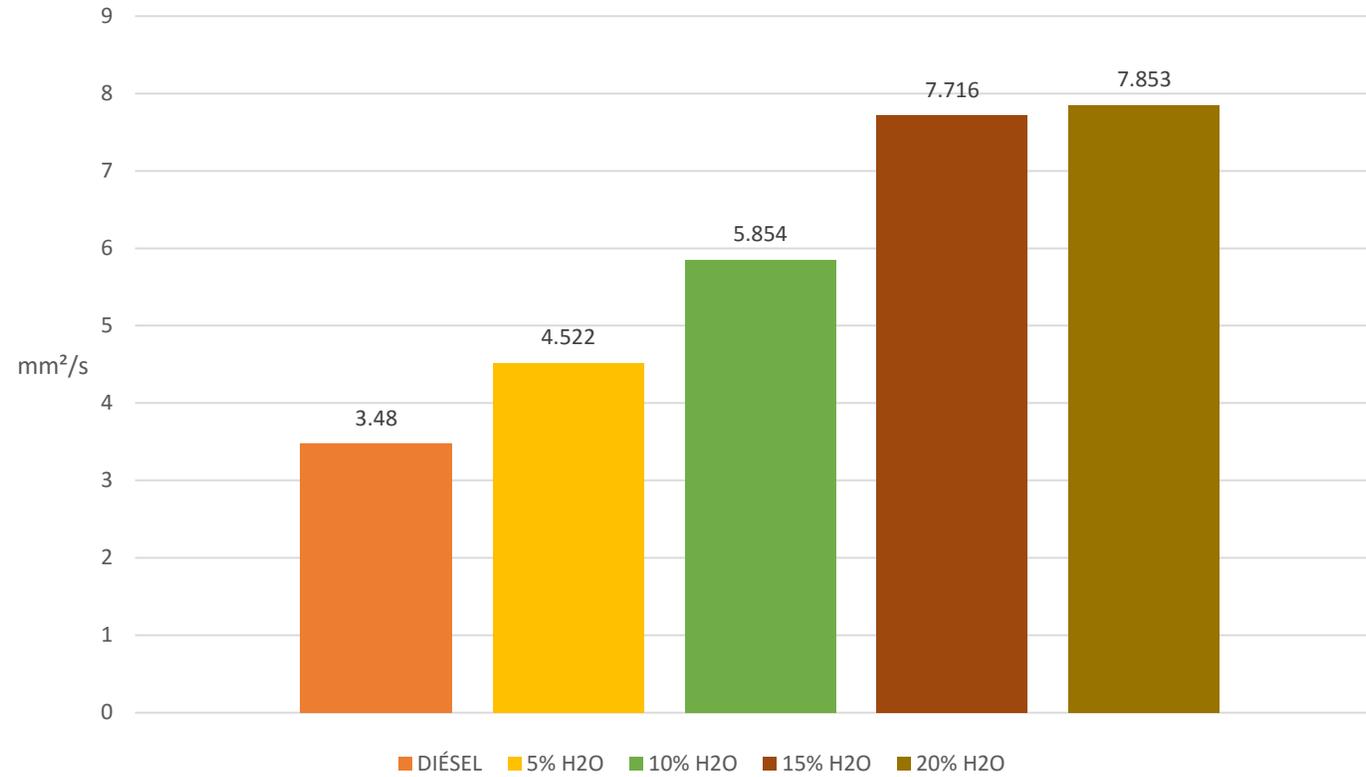
Densidad
Diésel vs. Emulsión





PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

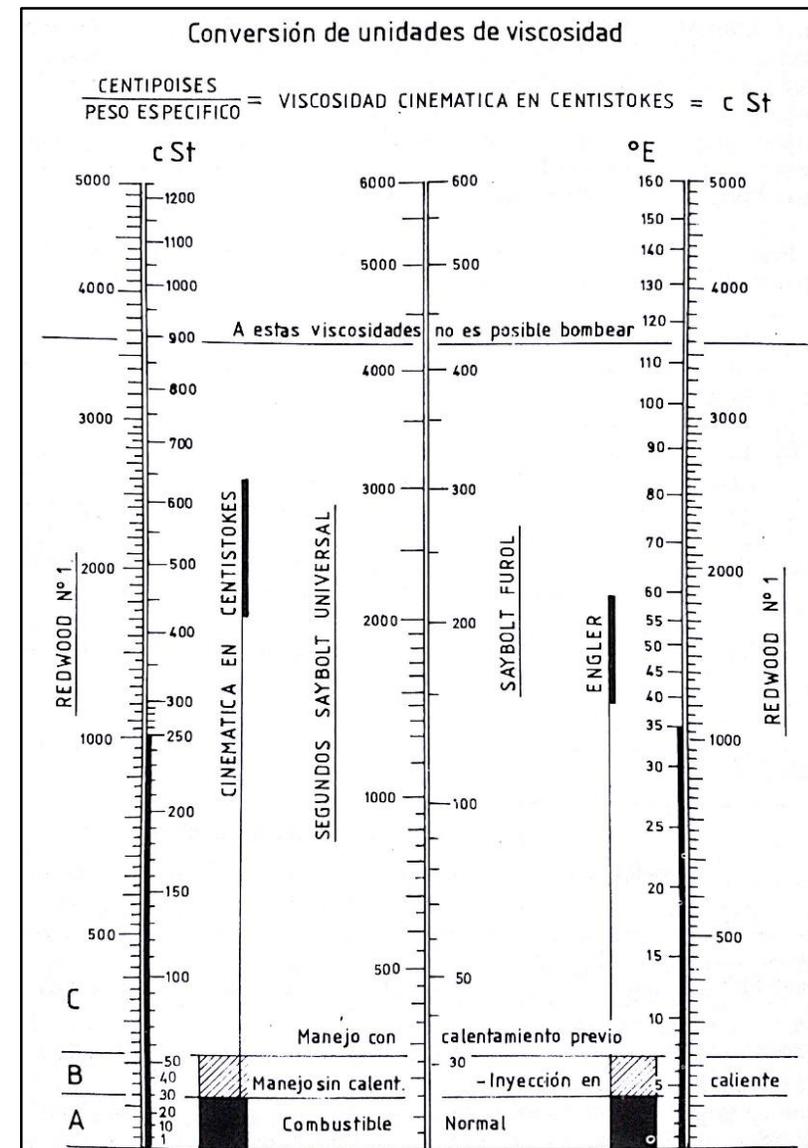
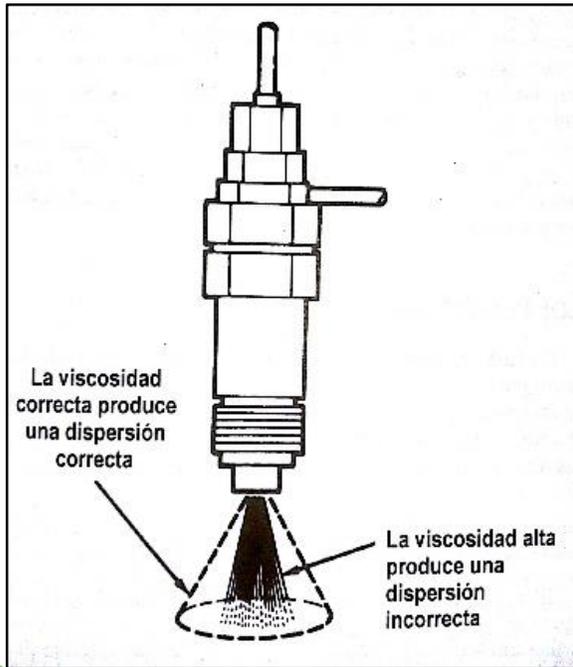
Viscosidad cinemática a 40 °C
Diésel vs. Emulsión





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

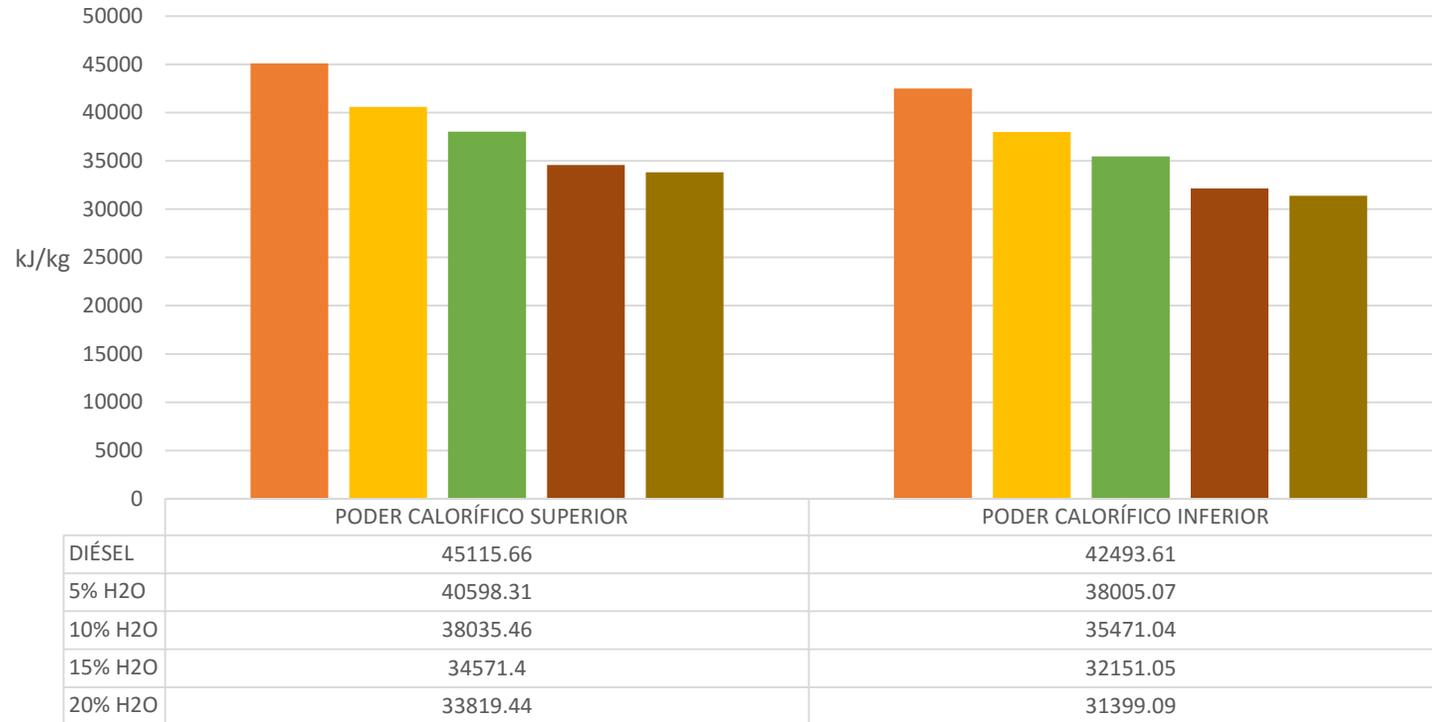
La viscosidad del combustible afecta al modelo de pulverización (Ralbovsky, 2000).





PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Poder calorífico
Diésel vs. Emulsión



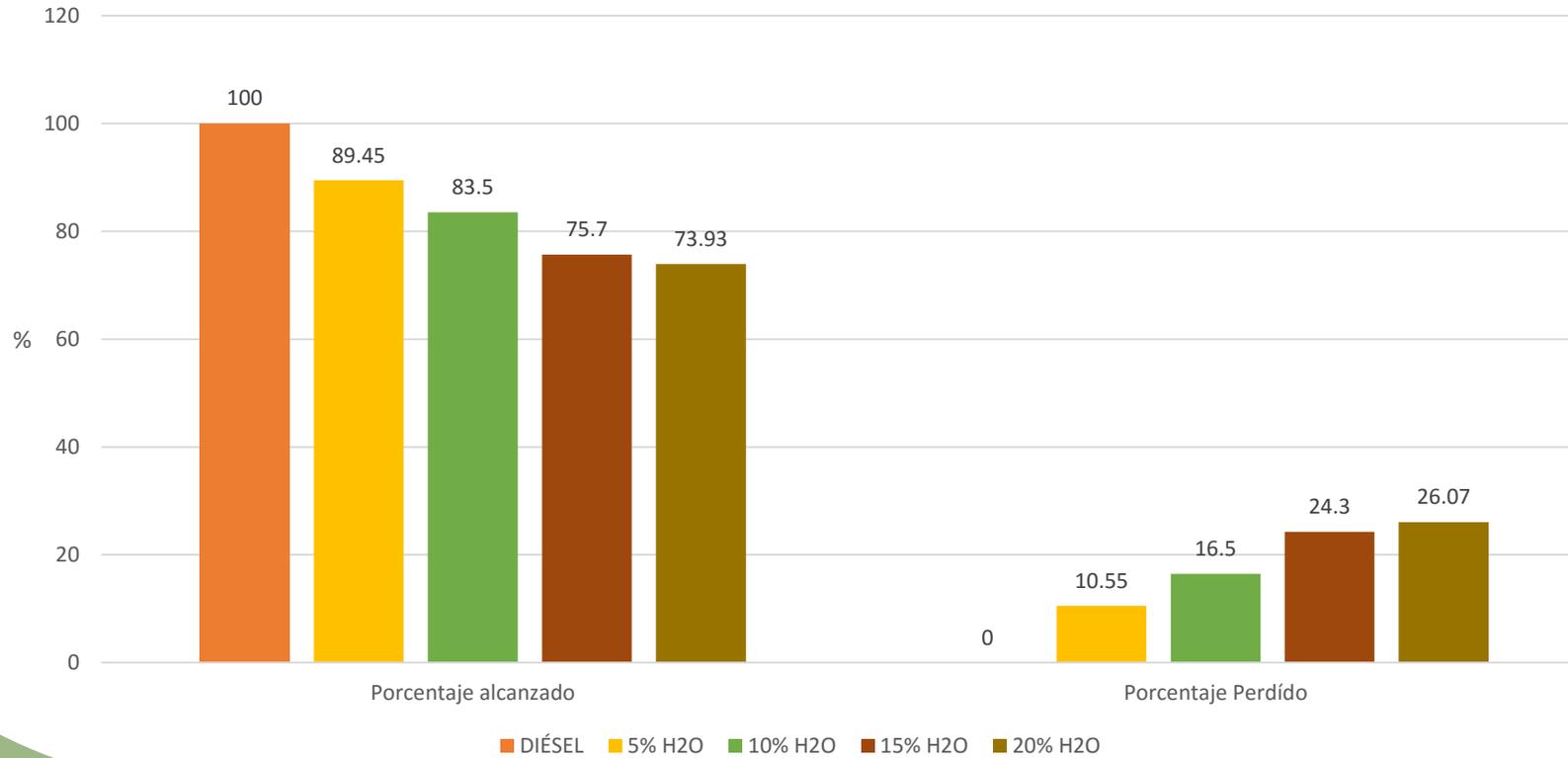
■ DIÉSEL ■ 5% H2O ■ 10% H2O ■ 15% H2O ■ 20% H2O





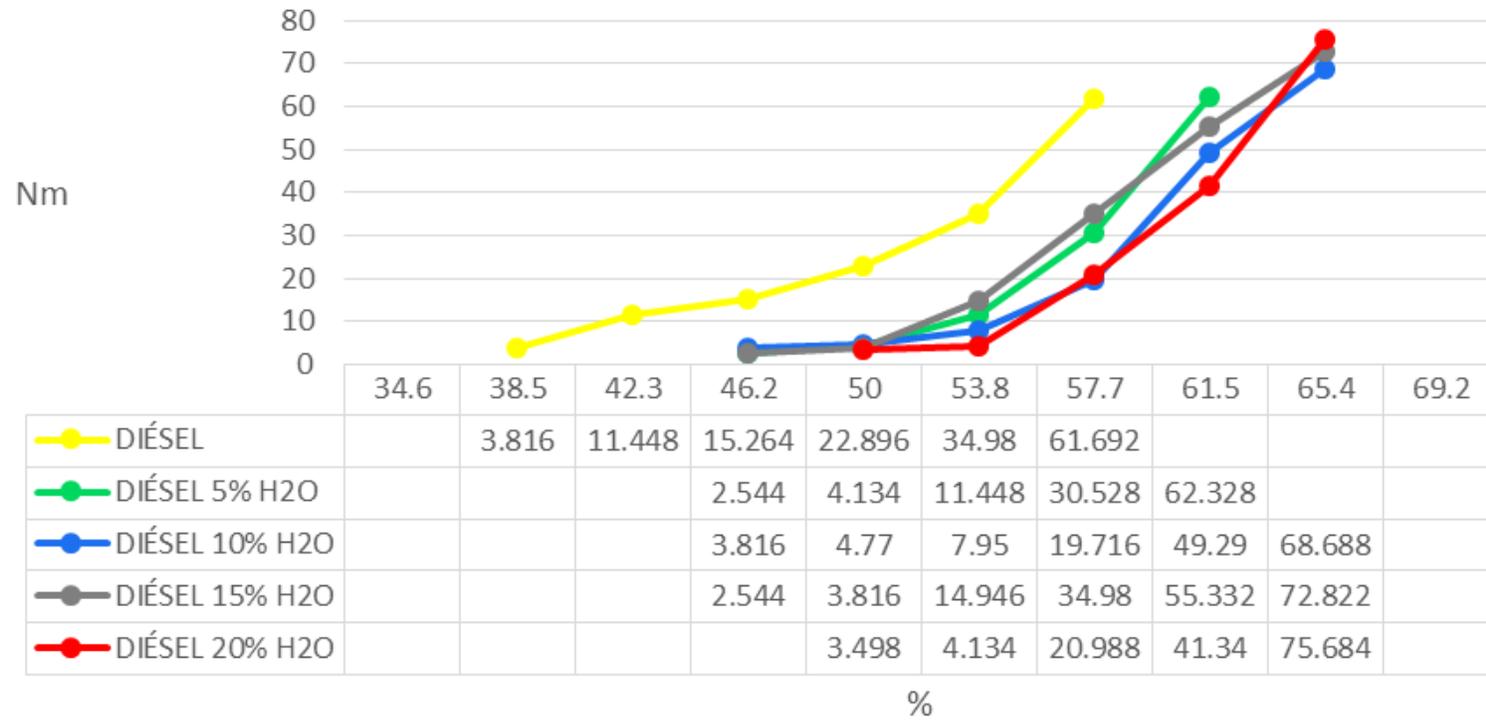
PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Potencial energético
Diésel vs. Emulsión





Torque vs. Carga

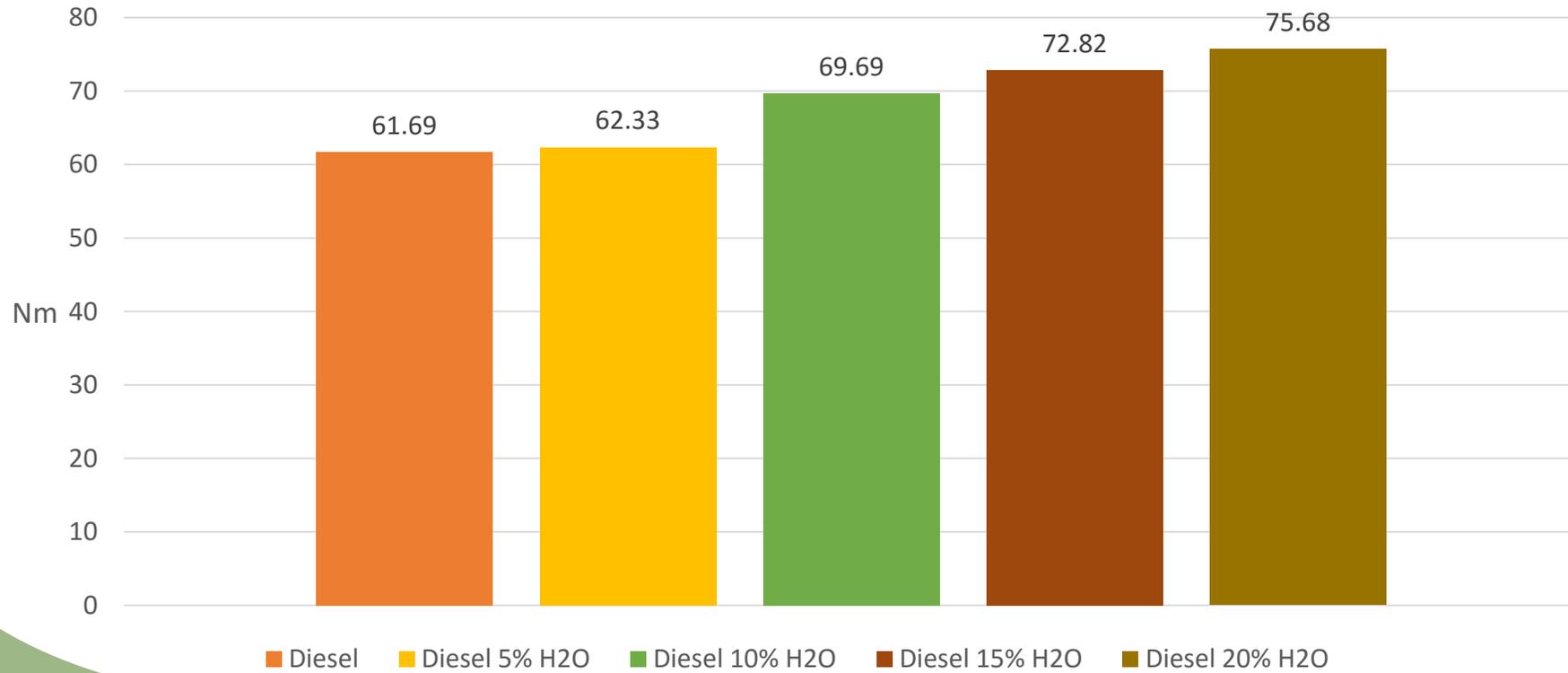


—●— DIÉSEL —●— DIÉSEL 5% H2O —●— DIÉSEL 10% H2O —●— DIÉSEL 15% H2O —●— DIÉSEL 20% H2O





Torque máximo Diesel vs. Emulsiones

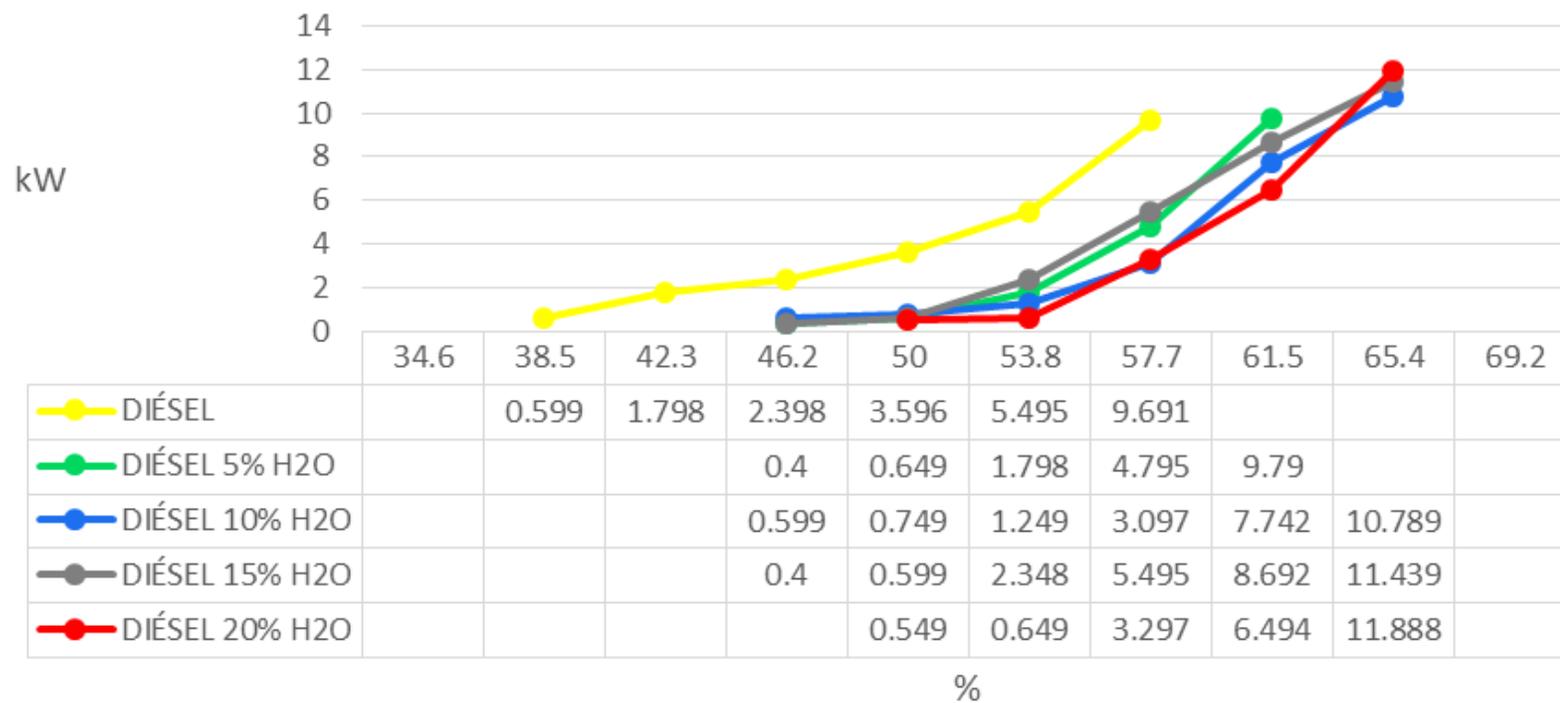




ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Potencia vs. Carga

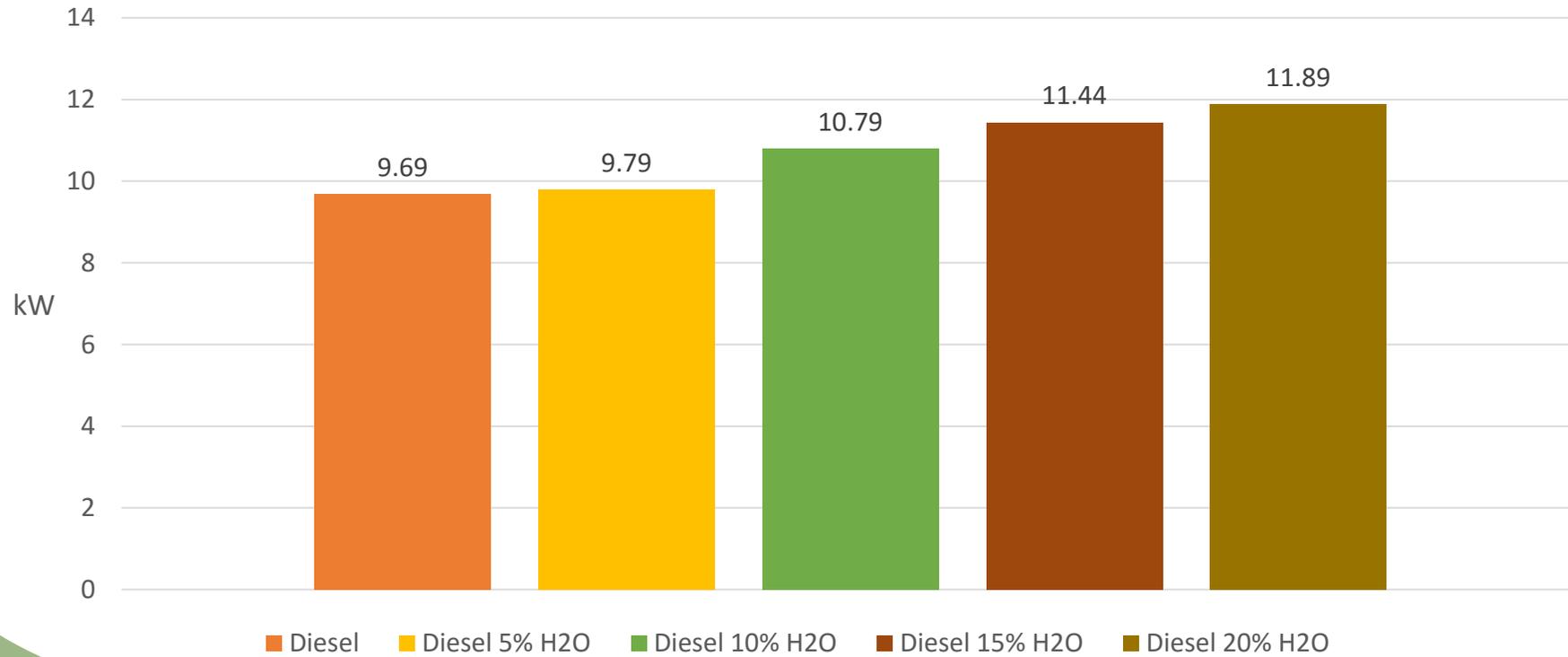


—●— DIÉSEL —●— DIÉSEL 5% H2O —●— DIÉSEL 10% H2O —●— DIÉSEL 15% H2O —●— DIÉSEL 20% H2O



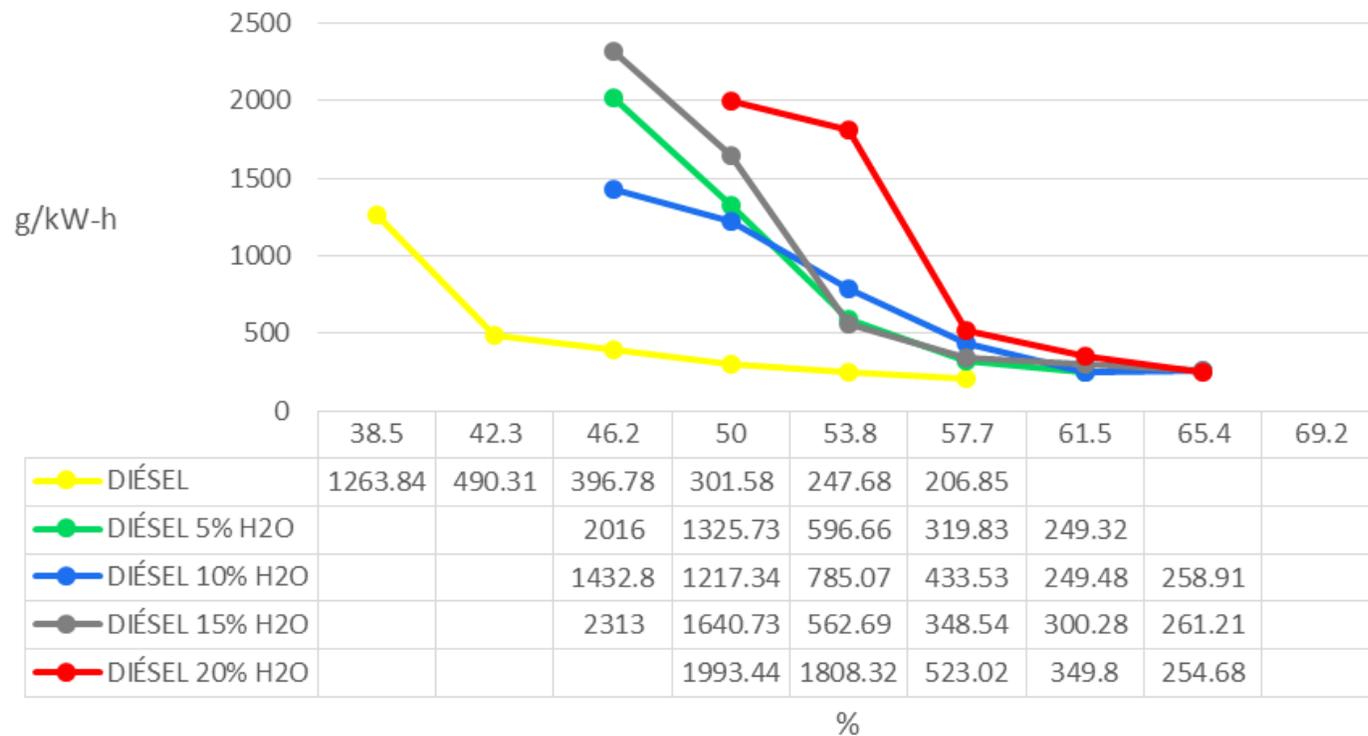


Potencia máxima Diesel vs. Emulsiones





Consumo específico de combustible vs. Carga

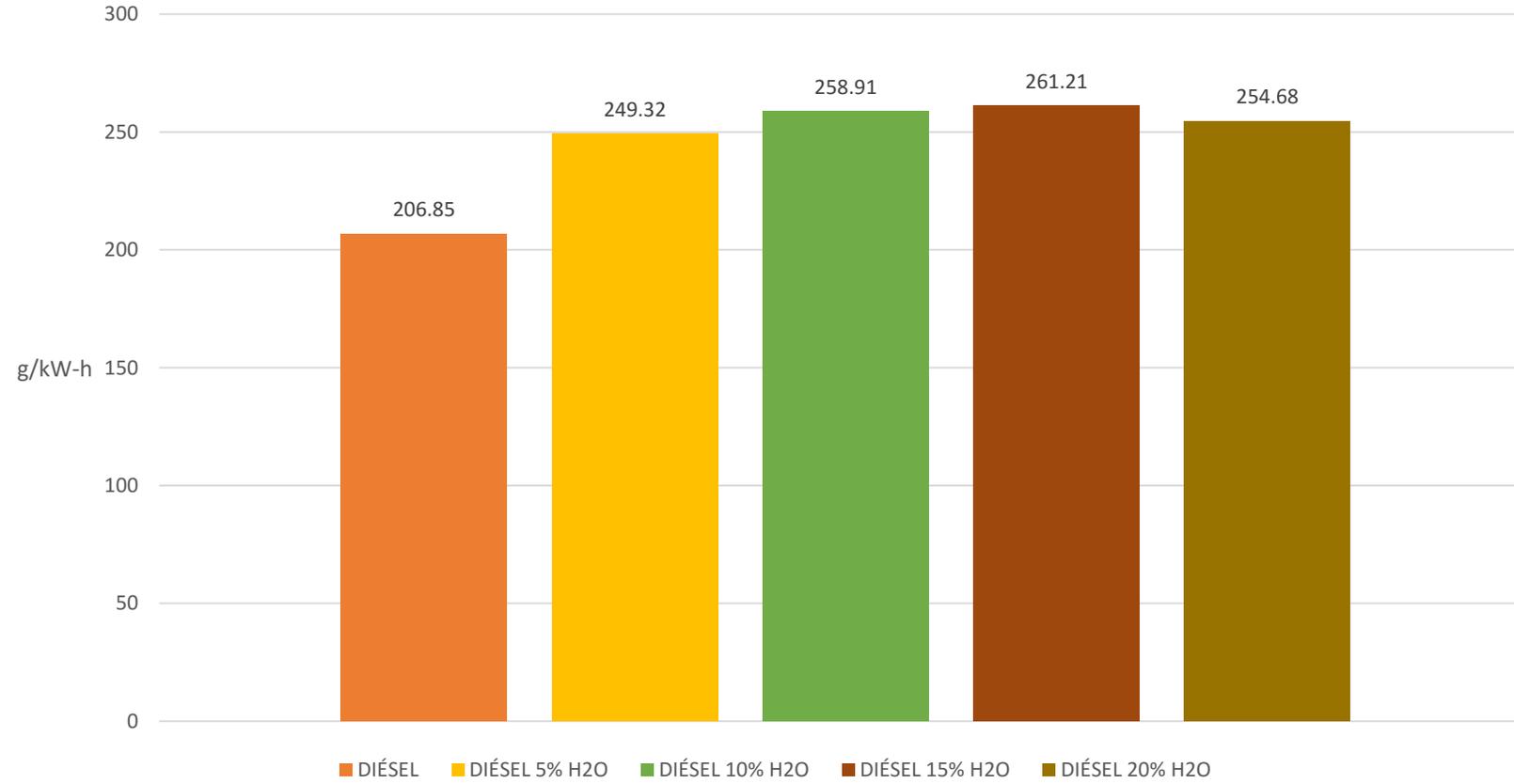


DIÉSEL DIÉSEL 5% H2O DIÉSEL 10% H2O DIÉSEL 15% H2O DIÉSEL 20% H2O



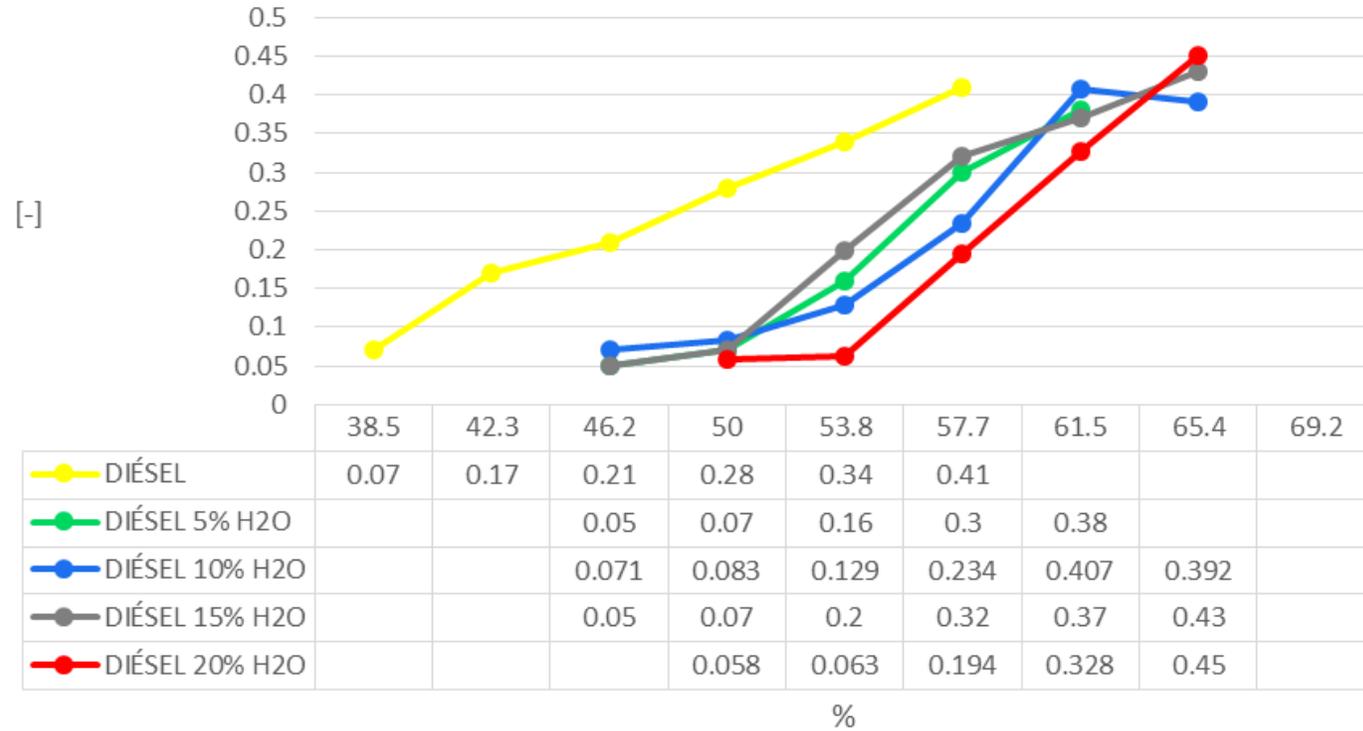


Consumo específico efectivo de combustible Diésel vs. Emulsión





Rendimiento térmico efectivo vs. Carga

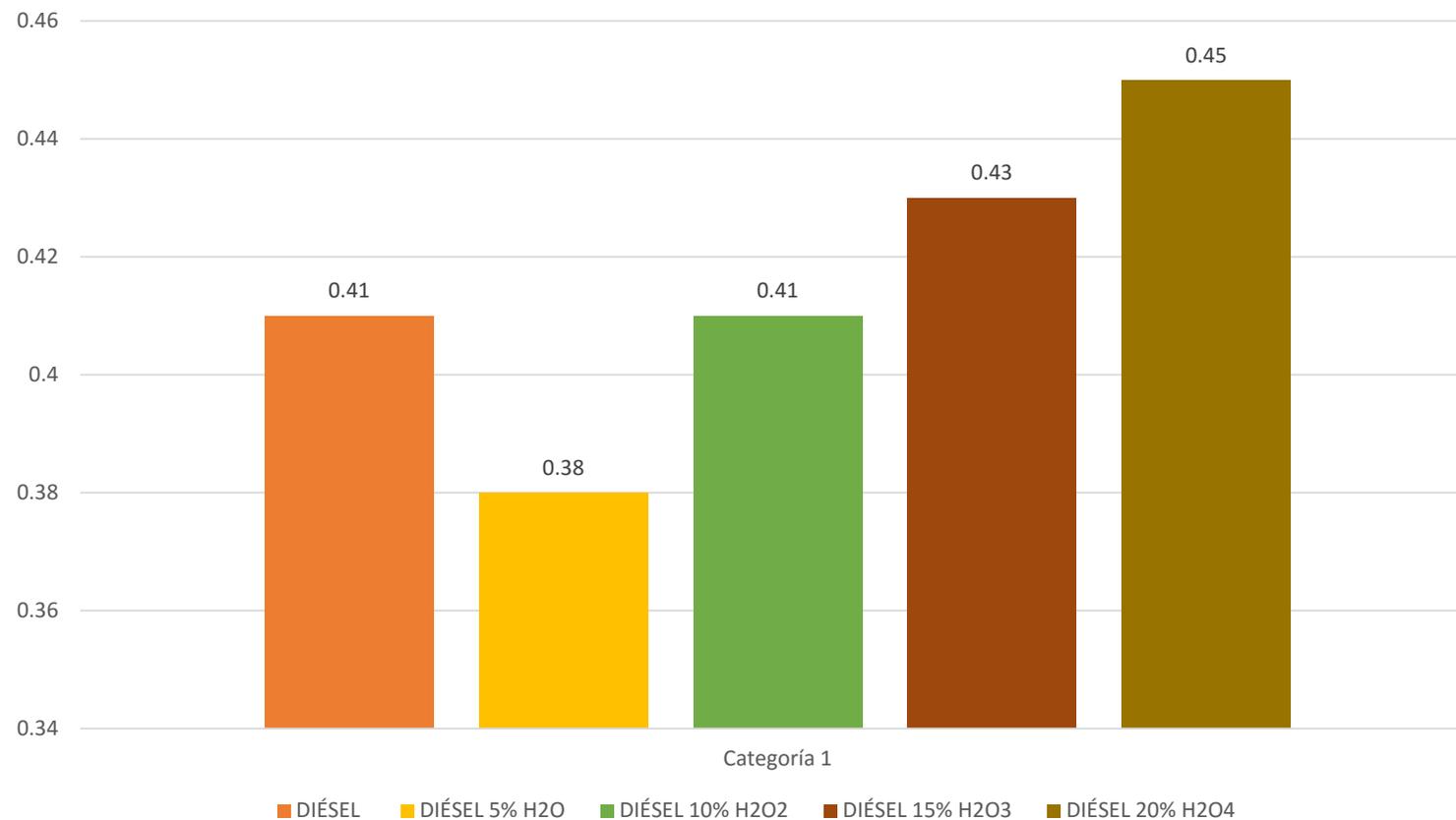


● DIÉSEL ● DIÉSEL 5% H2O ● DIÉSEL 10% H2O ● DIÉSEL 15% H2O ● DIÉSEL 20% H2O



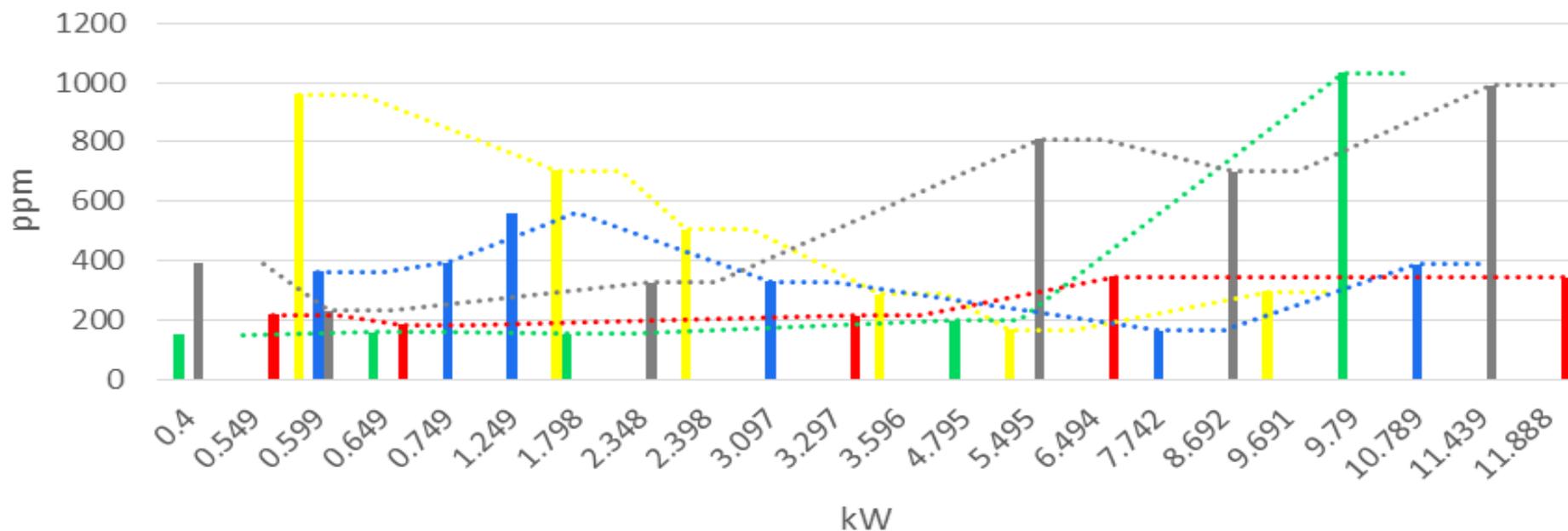


Rendimiento térmico efectivo máximo





Emisiones de CO vs. Potencia

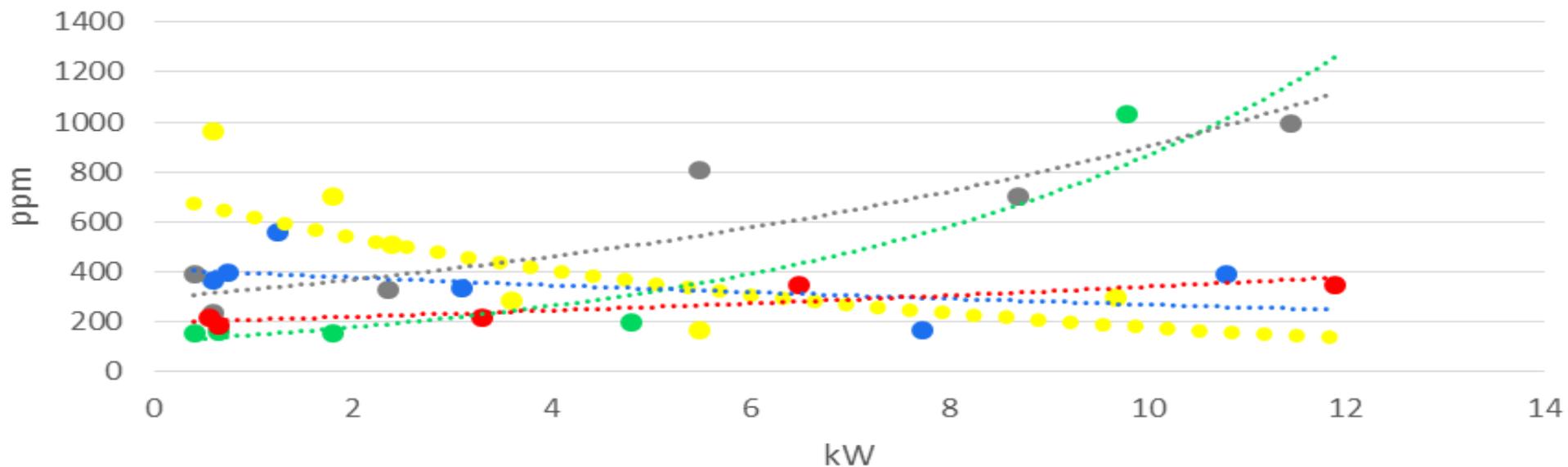


- Diesel
- Diesel 5% H₂O
- Diesel 10% H₂O
- Diesel 15% H₂O
- Diesel 20% H₂O
- 2 per. media móvil (Diesel)
- 2 per. media móvil (Diesel 5% H₂O)
- 2 per. media móvil (Diesel 10% H₂O)
- 2 per. media móvil (Diesel 15% H₂O)
- 2 per. media móvil (Diesel 20% H₂O)





Tendencia exponencial Emisiones de CO vs. Potencia

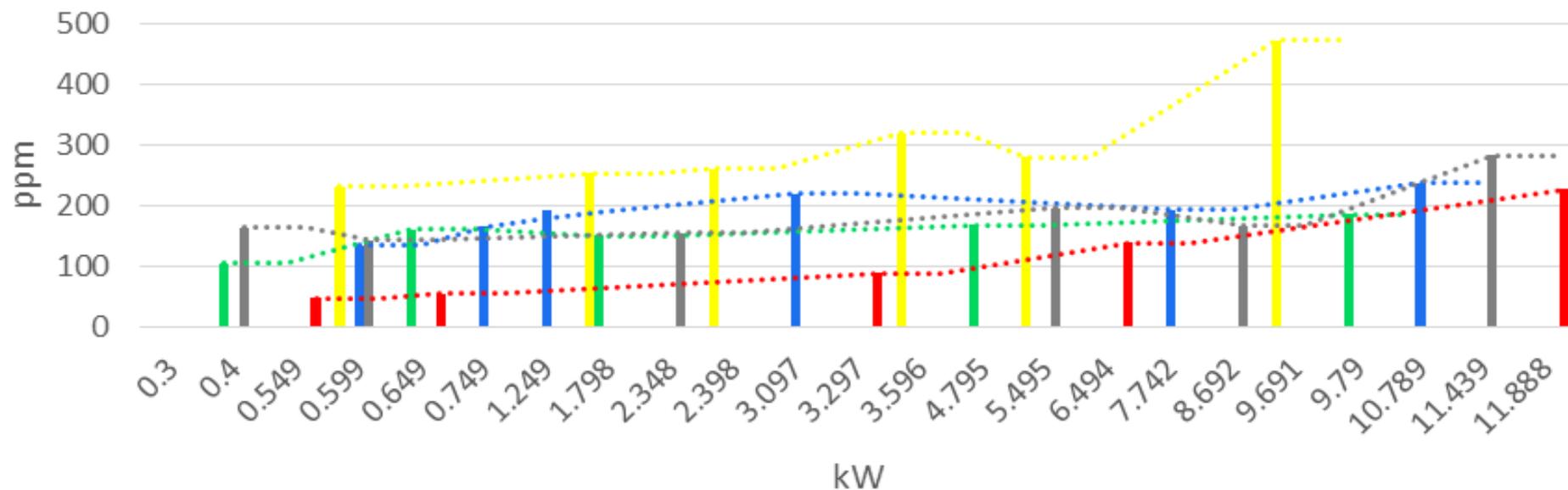


- Diesel
- Diesel 5% H2O
- Diesel 10% H2O
- Diesel 15% H2O
- Exponencial (Diesel)
- Exponencial (Diesel 5% H2O)
- Exponencial (Diesel 10% H2O)
- Exponencial (Diesel 15% H2O)
- Exponencial (Diesel 20% H2O)





Emisiones de NOx vs. Potencia

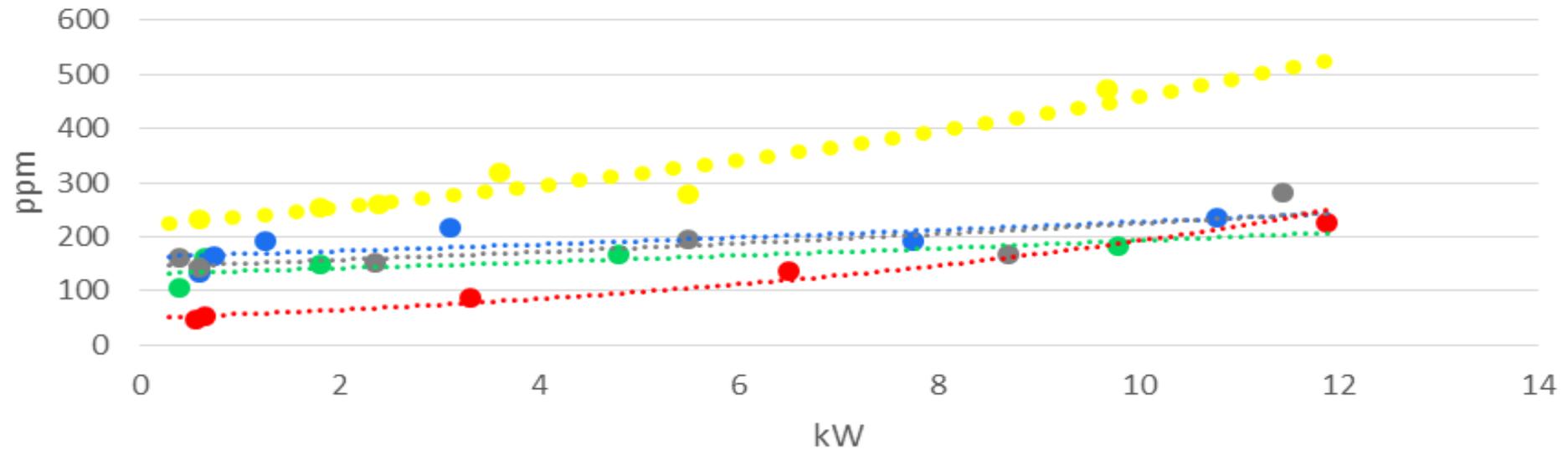


- Diesel
- Diesel 5% H2O
- Diesel 10% H2O
- Diesel 15% H2O
- Diesel 20% H2O
- 2 per. media móvil (Diesel)
- 2 per. media móvil (Diesel 5% H2O)
- 2 per. media móvil (Diesel 10% H2O)
- 2 per. media móvil (Diesel 15% H2O)
- 2 per. media móvil (Diesel 20% H2O)





Tendencia exponencial Emisiones de NOx vs. Potencia

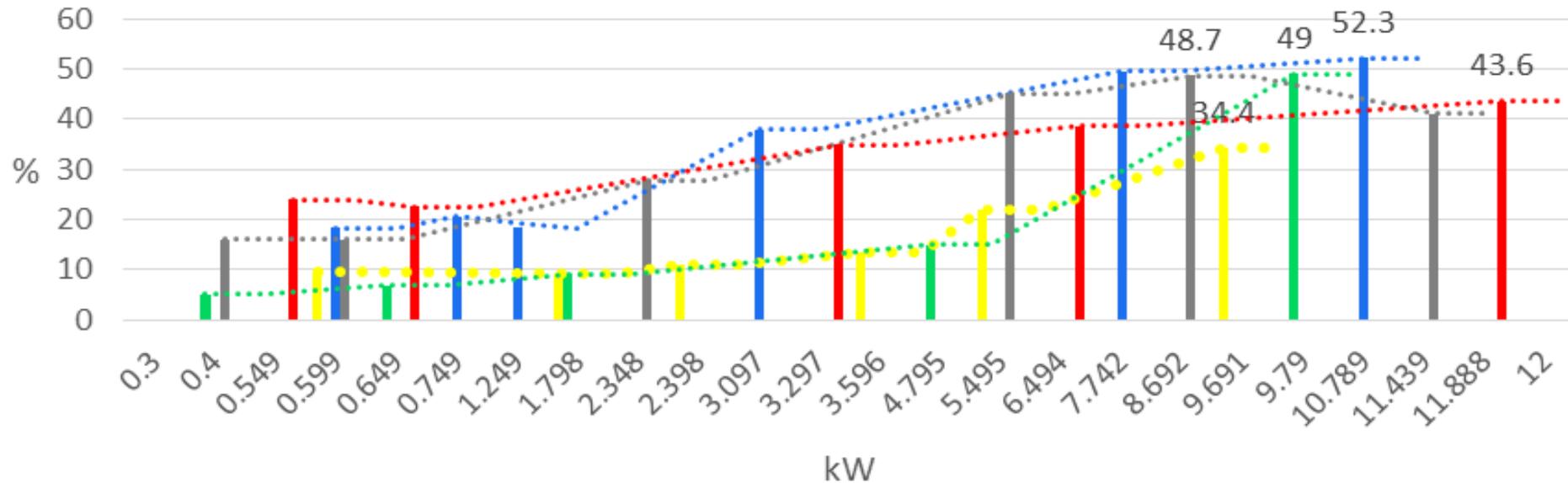


- Diesel
- Diesel 5% H2O
- Diesel 10% H2O
- Diesel 15% H2O
- Diesel 20% H2O
- Exponencial (Diesel)
- Exponencial (Diesel 5% H2O)
- Exponencial (Diesel 10% H2O)
- Exponencial (Diesel 15% H2O)
- Exponencial (Diesel 20% H2O)





Opacidad vs. Potencia



Diesel

Diesel 10% H2O

Diesel 20% H2O

Diesel 5% H2O

Diesel 15% H2O

Diesel 5% H2O

Diesel 15% H2O

2 per. media móvil (Diesel)

2 per. media móvil (Diesel 5% H2O)

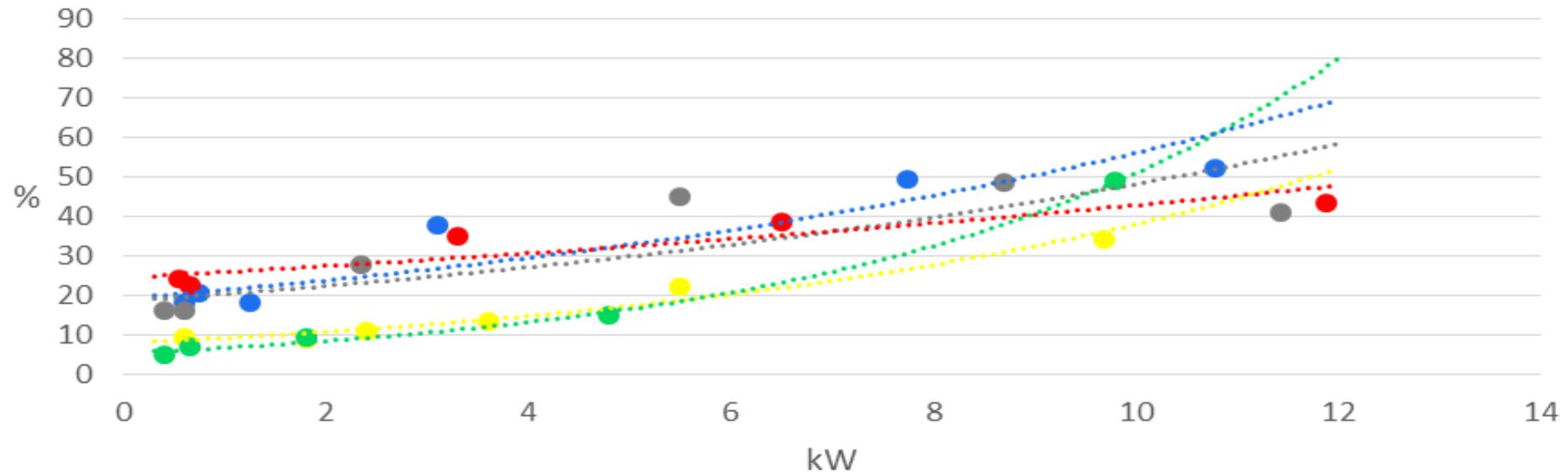
2 per. media móvil (Diesel 10% H2O)

2 per. media móvil (Diesel 20% H2O)





Curvas de tendencia Opacidad vs. Potencia

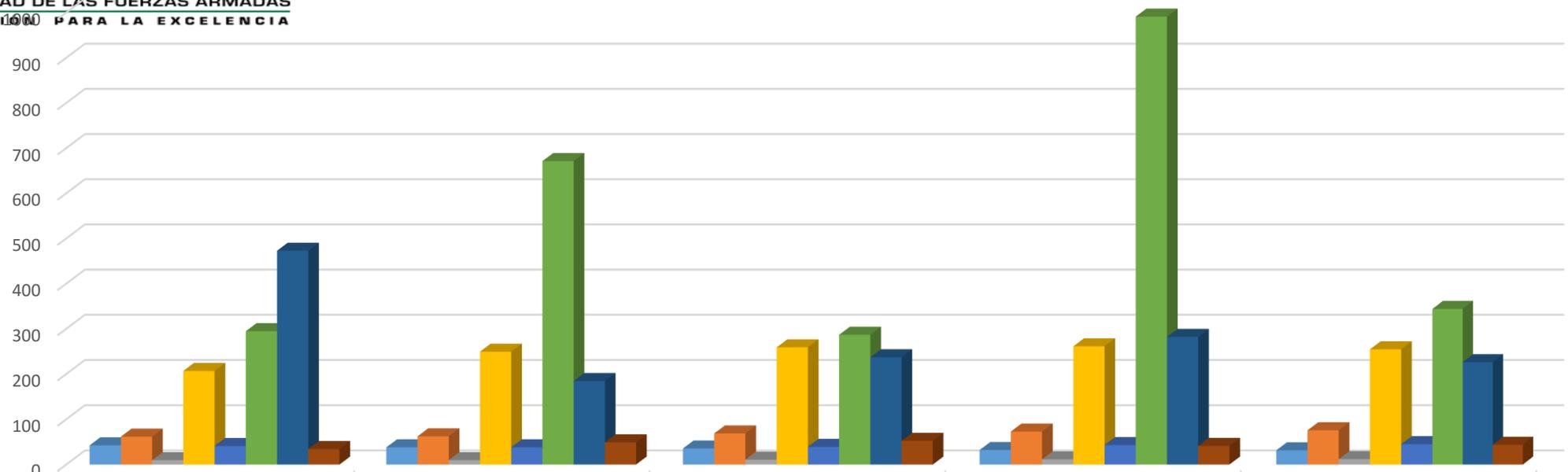


- Diesel
- Diesel 5% H2O
- Diesel 10% H2O
- Diesel 15% H2O
- Diesel 20% H2O
- Exponencial (Diesel)
- Exponencial (Diesel 5% H2O)
- Exponencial (Diesel 10% H2O)
- Exponencial (Diesel 15% H2O)
- Exponencial (Diesel 20% H2O)





Resumen de parámetros
Diésel vs. Emulsión



	DIÉSEL NETO	DIÉSEL 5% H2O	DIÉSEL 10% H2O	DIÉSEL 15% H2O	DIÉSEL 20% H2O
Poder calorífico [MJ/kg]	42.494	38.005	35.471	32.151	31.399
Torque [Nm]	61.69	62.33	68.69	72.82	75.68
Potencia [kW]	9.69	9.79	10.79	11.44	11.89
Consumo [g/kW-h]	206.85	249.32	258.91	261.21	254.68
Rendimiento [%]	41	38	39	43	45
CO [ppm]	294.7	671.3	286.8	991	344
Nox [ppm]	472.7	184.5	237	282	226
Opacidad [%]	34.4	49	52.3	41.1	43.6

■ Poder calorífico [MJ/kg] ■ Torque [Nm] ■ Potencia [kW] ■ Consumo [g/kW-h] ■ Rendimiento [%] ■ CO [ppm] ■ Nox [ppm] ■ Opacidad [%]





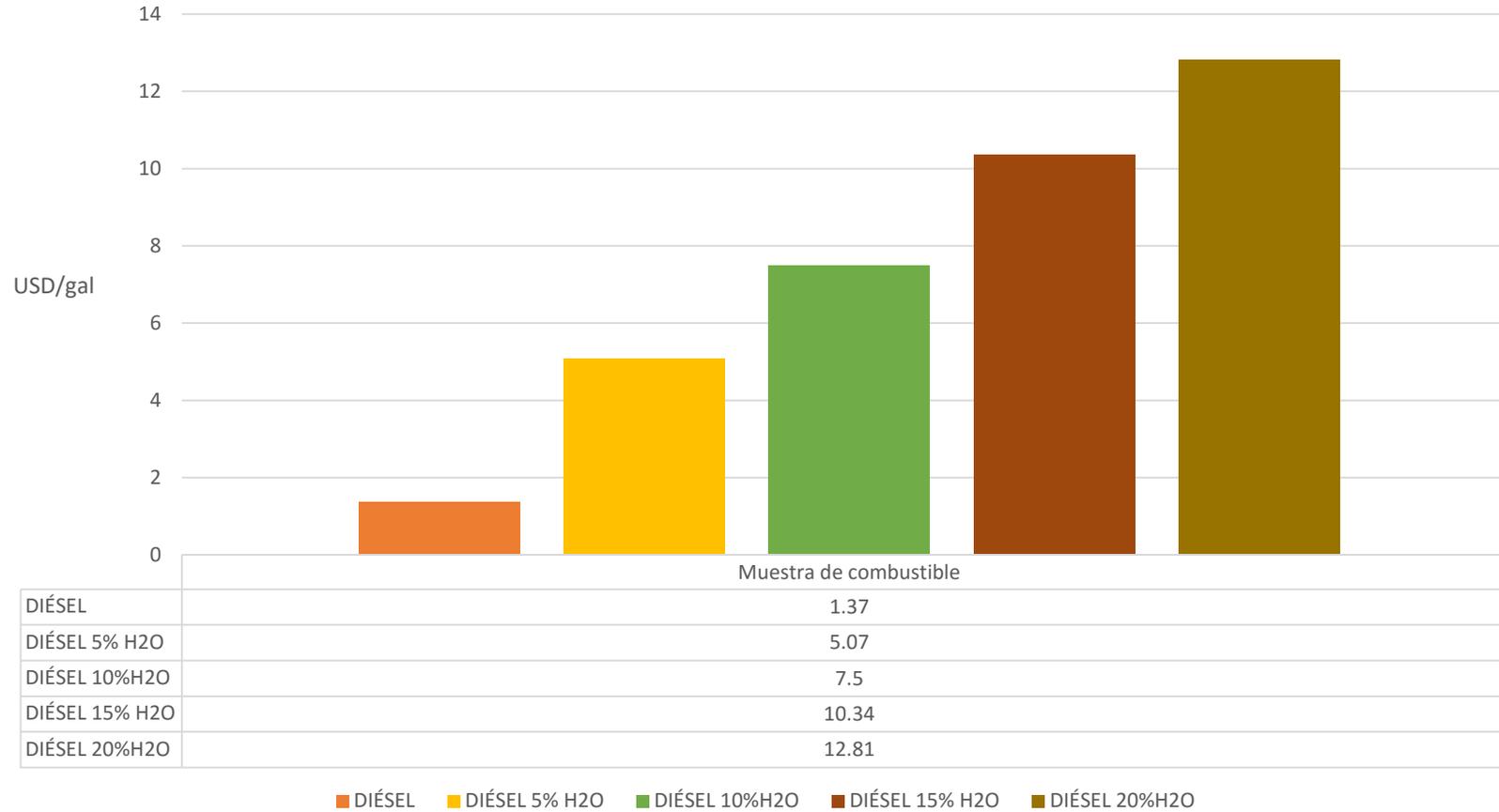
Precio de productos

Producto	Cantidad	Precio [USD]	Referencia
Nonil Fenol	1kg	4.45	(LA CASA DE LOS QUÍMICOS, 2016)
Ácido Oleico	1kg	4.25	(LA CASA DE LOS QUÍMICOS, 2016)
Kolliphor EL	1kg	142.50	(KRACKELER Scientific, 2016)
Diesel	1gal	1.37	(PETROECUADOR, 2016)
Agua destilada	1gal	2.40	(LA CASA DE LOS QUÍMICOS, 2016)



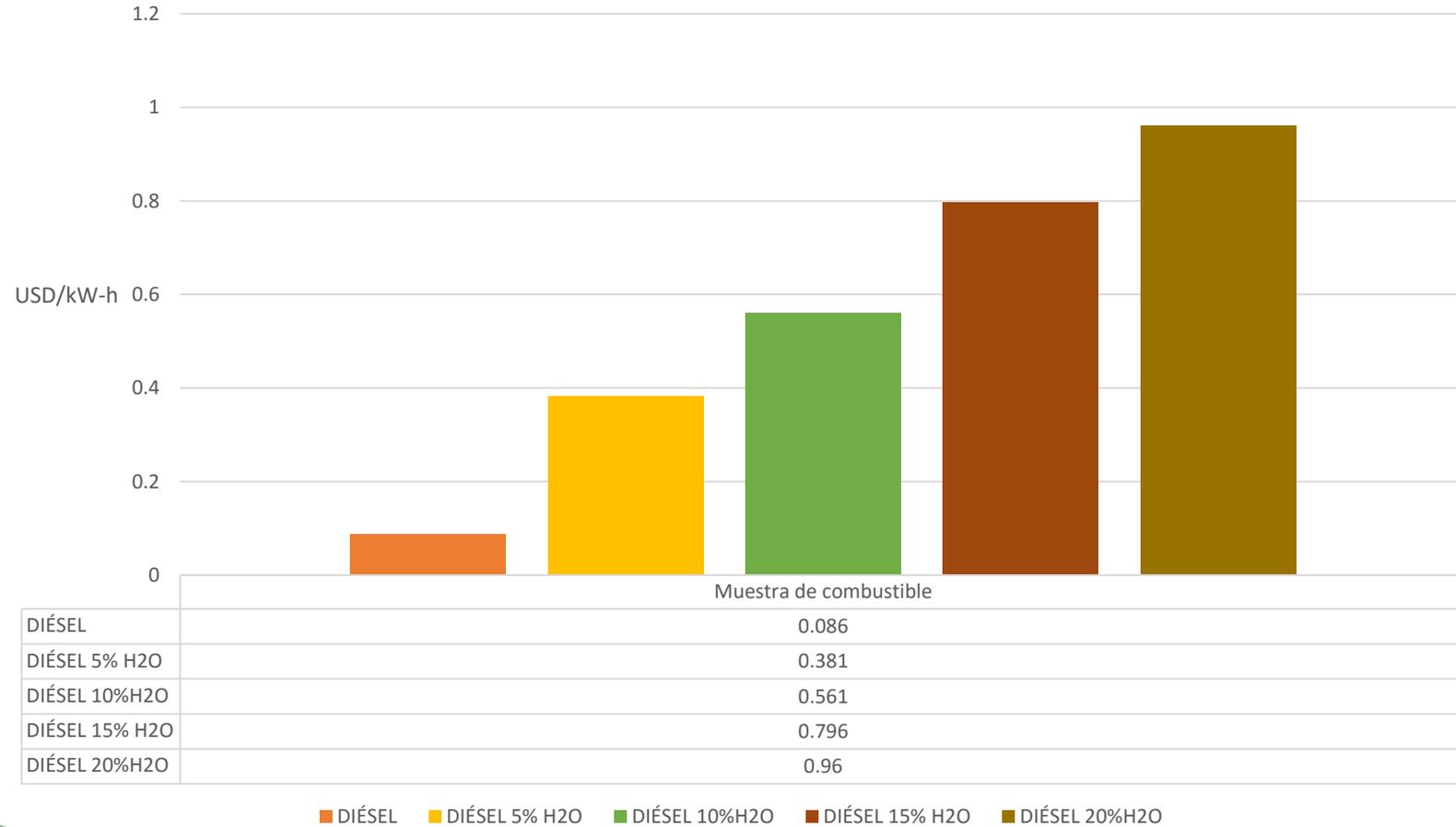


Costo de formulación Diésel vs. Emulsión





Costo para generación de energía Diésel vs. Emulsión





CONCLUSIONES

- Se obtuvieron resultados del potencial energético de las emulsiones diesel y agua al 5, 10, 15 y 20 % con la utilización de tres surfactantes, mediante equipos especializados y pruebas de laboratorio, mostrándose una disminución escalonada en **el poder calorífico inferior y superior** dependiendo del porcentaje de agua, desde **42493.61 kJ/kg para el diesel neto**, hasta **31399.09 kJ/kg con la emulsión con el 20 % de agua**, valores que corresponden al poder calorífico inferior.
- Se utilizaron las emulsiones de combustible con el 5, 10, 15 y 20% de agua en el motor PETERS PJ 2 W del banco de pruebas PLINT TE-16, determinando que se obtiene mejores resultados en los **parámetros mecánicos y térmicos con la emulsión diesel y 20% de agua**, lo que dirige al análisis de costos y vida útil de los elementos motor de combustión interna
- Se determinó el nivel de gases contaminantes generados por el diesel y por las emulsiones de combustible, estableciendo que todas las **emulsiones generan menor cantidad de NO_x**, la **emulsión diesel con el 5%** de agua emite menor cantidad de NO_x siendo de **184.5 ppm, frente a 472 ppm, emitidas por el diesel neto**, ambas mediciones realizadas a la potencia máxima alcanzada por la prueba.





CONCLUSIONES

- Se determinó que el precio de los productos utilizados en esta investigación para la formulación de emulsiones de combustible presentan elevado precio, lo que eleva su costo por galón comparado al precio del diesel comercial de 1.37 USD/gal frente a las emulsiones investigadas que van desde 5.07 USD/gal (5% agua) hasta 12.81 USD/gal (20% agua).
- Se calculó el precio para la generación de energía con emulsiones de combustible las cuales con la formulación investigada **no representa un beneficio económico**, resultando el valor de **0.086 USD/kW-h para combustible diesel** y desde **0.38 USD/kW/h a de 0.96 USD/kW-h** al utilizar la emulsión del 20% de agua.
- Se determinó que **la formulación investigada** para las emulsiones diesel con **no es factible económicamente por lo que se debe realizar nuevas investigaciones en la reformulación de las emulsiones diesel/agua**, por los parámetros mecánicos y térmicos se debe indagar en los efectos que acarrea el uso de emulsiones de diesel/agua en los materiales del motor de combustión interna.





RECOMENDACIONES

- Es necesario realizar la **reformulación de las emulsiones diesel y agua**, para determinar un punto de equilibrio donde se presente **menor utilización de tensoactivos**.
- Indagar sobre **tensoactivos de menor costo** que sean distribuidos en el país para realizar una reformulación en las emulsiones y en consecuencia **disminuya los costos de formulación y de generación de energía**.
- Investigar sobre **tensoactivos que presentan las grasas animales y vegetales** para la formulación de emulsiones diesel.
- Desarrollar **sistemas automáticos** de elaboración de emulsiones de combustible en el motor, para trabajar con el tiempo menor de estabilización de la emulsión y **operar con menos cantidad de tensoactivo**.





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

“Cuando la sabiduría entre en tu corazón y el conocimiento sea agradable a tu alma, te guardará la sana iniciativa, y te preservará el entendimiento.”

Proverbios: 2:10-11

