



# Efecto tribológico de la aditivación de lubricantes minerales para motores diésel con nanotubos de carbono funcionalizados

XI Conferencia Científica Internacional de Ingeniería Mecánica – COMEC 2023



SC 7134-1  
SC 7134-1



Producción 112012 del IEN, 20 de junio de 2012 - 8 años.

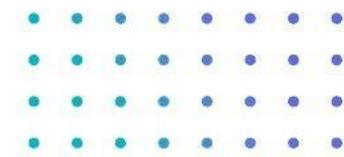
Tradición  
Transformación  
Innovación



Alcaldía de Medellín  
Distrito de  
Ciencia, Tecnología e Innovación

# Contenido

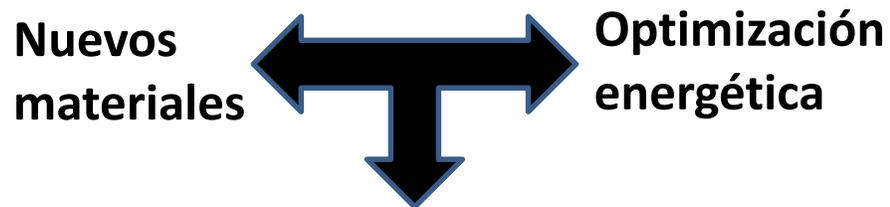
- Introducción
- Metodología
- Resultados y análisis
- Conclusiones



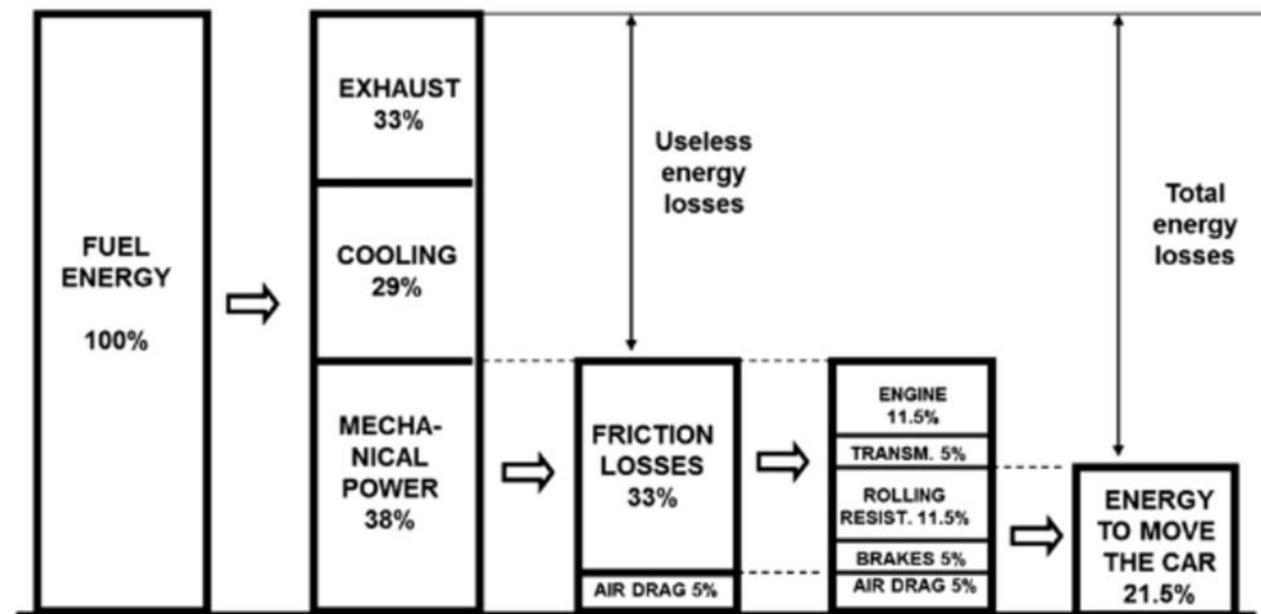
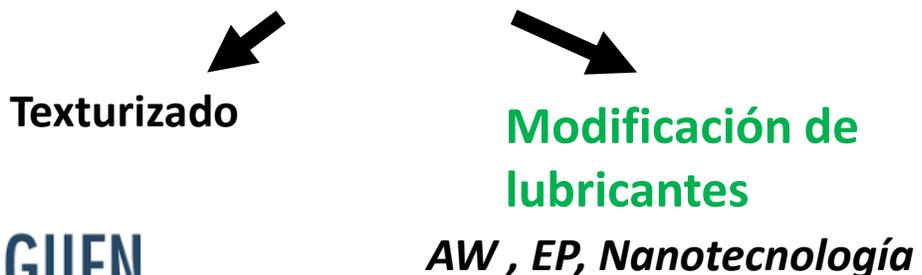
# INTRODUCCIÓN

## MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

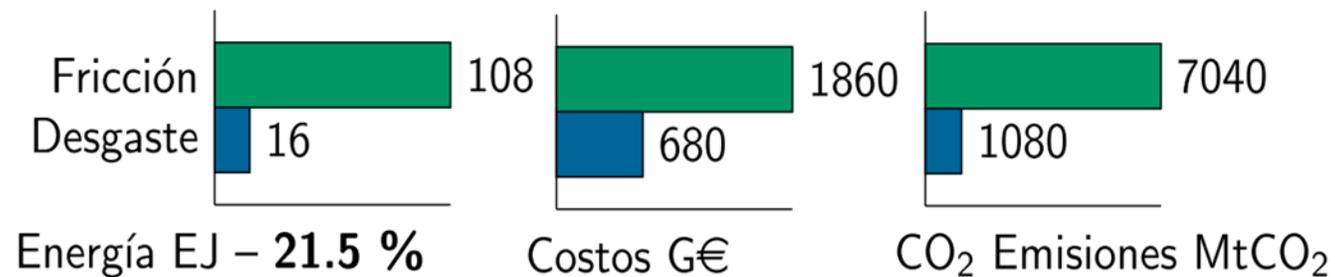
- Elevado consumo de combustible
- Elevada contaminación
- Elevado uso (transporte, minas...)
- Elevadas pérdidas



### Control de fricción



(Taylor & Coy, 2000)



## 1. Lubricante mineral convencional SAE 15W40 aditivado:

- Nanotubos de carbono
- Nanotubos con MoS<sub>2</sub>

## 2. Caracterización

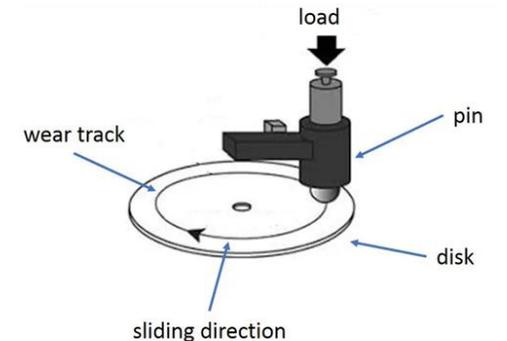
- Nanotubos
- Anillo y Camisa del motor

## 3. Evaluación reológica

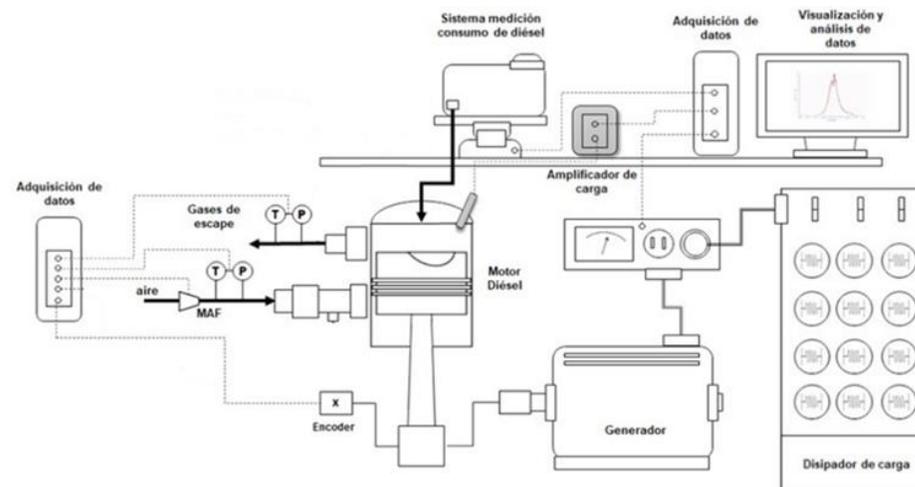
## 4. Evaluación tribológica

- Pin disco
- Banco Motor

Pin Disco

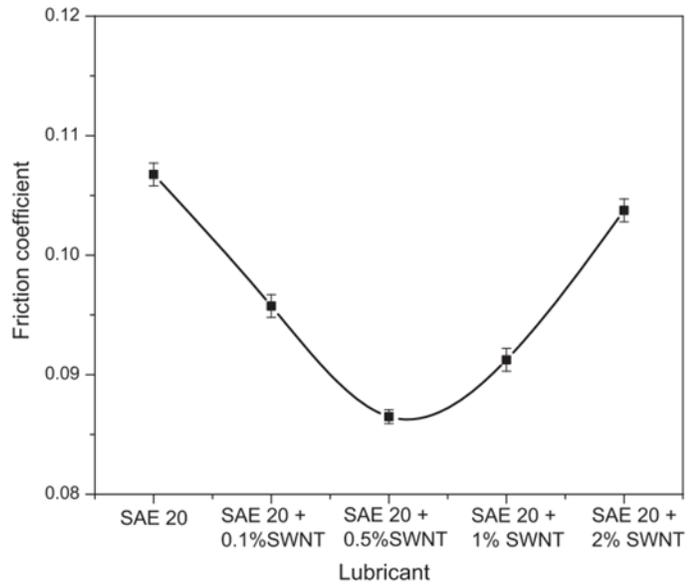


ASTM G-99

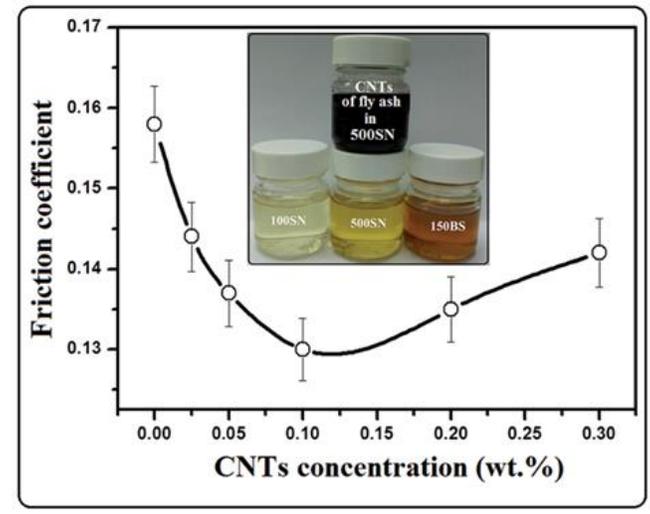


1kw a 3600rpm por 60min

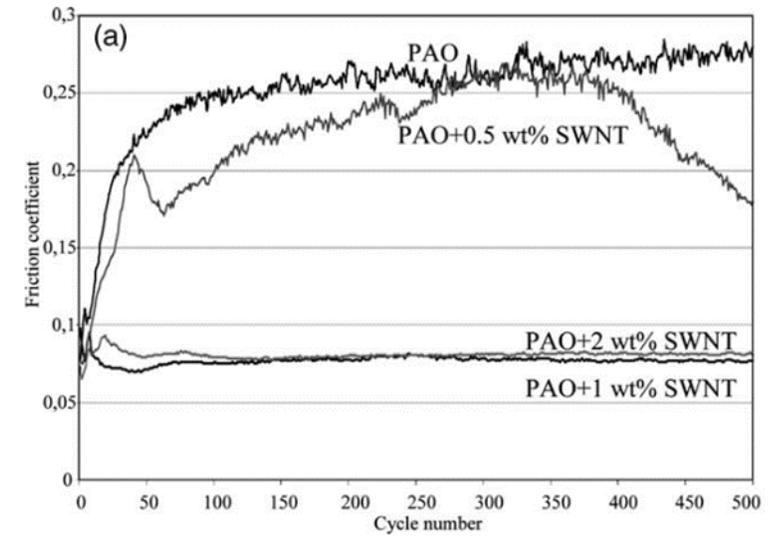
# RESULTADOS



Aceites minerales, SWCNT, CVD  
(Cursaru et al., 2012)



Base mineral 500SN, CNTs de ceniza volante, CVD  
(Salah et al., 2017)



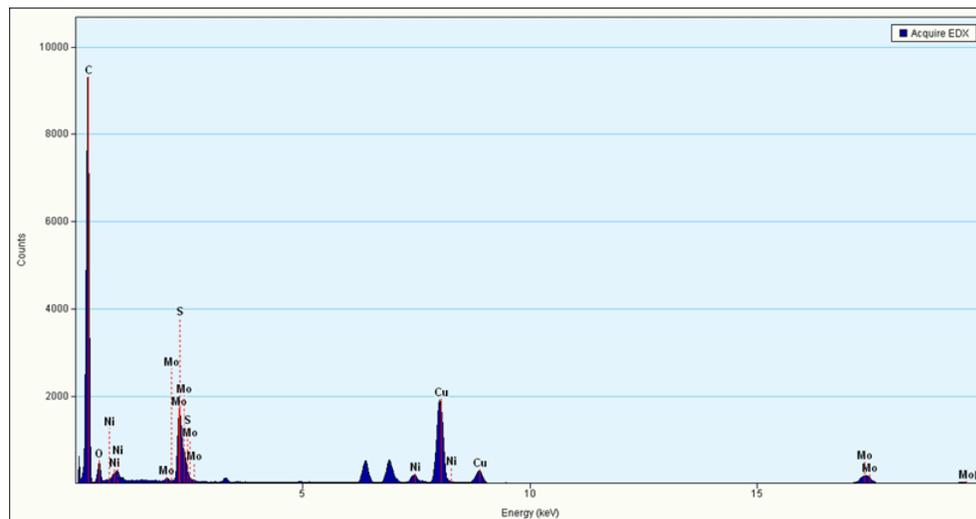
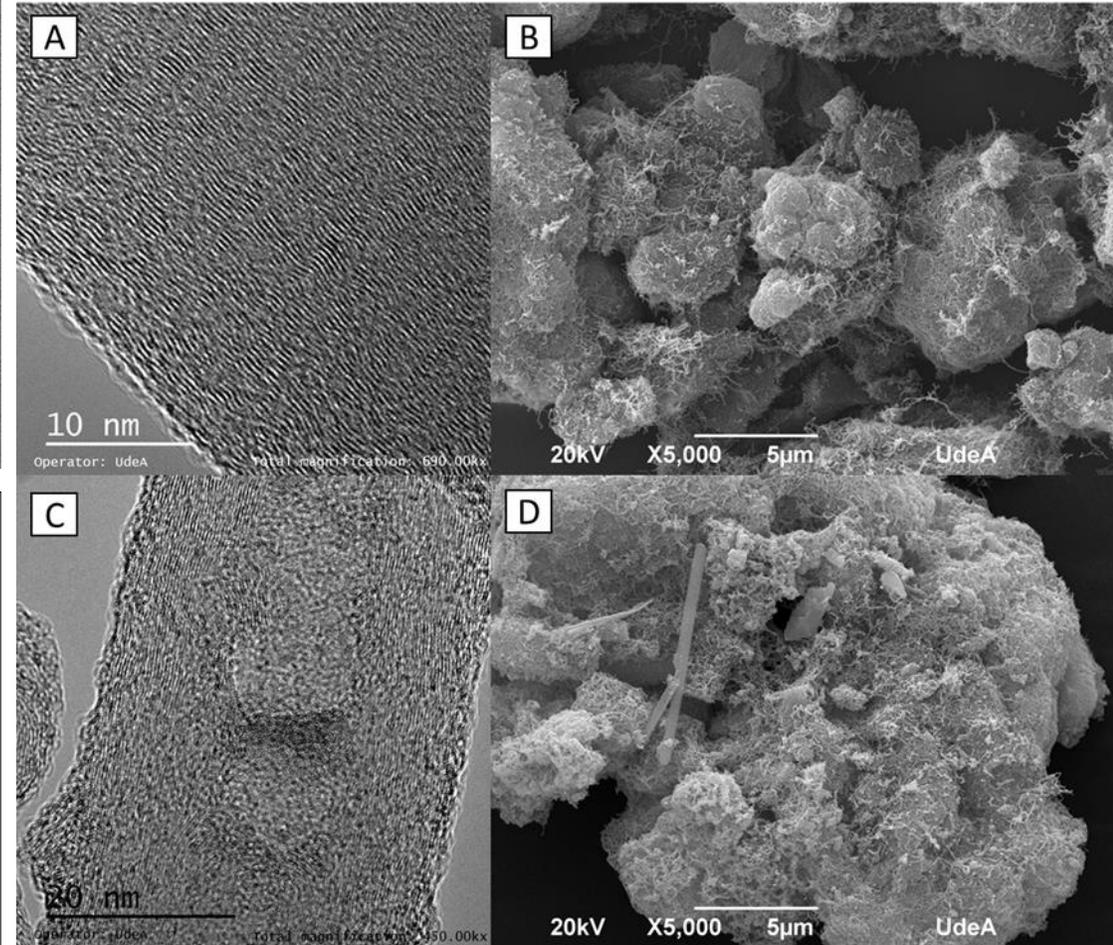
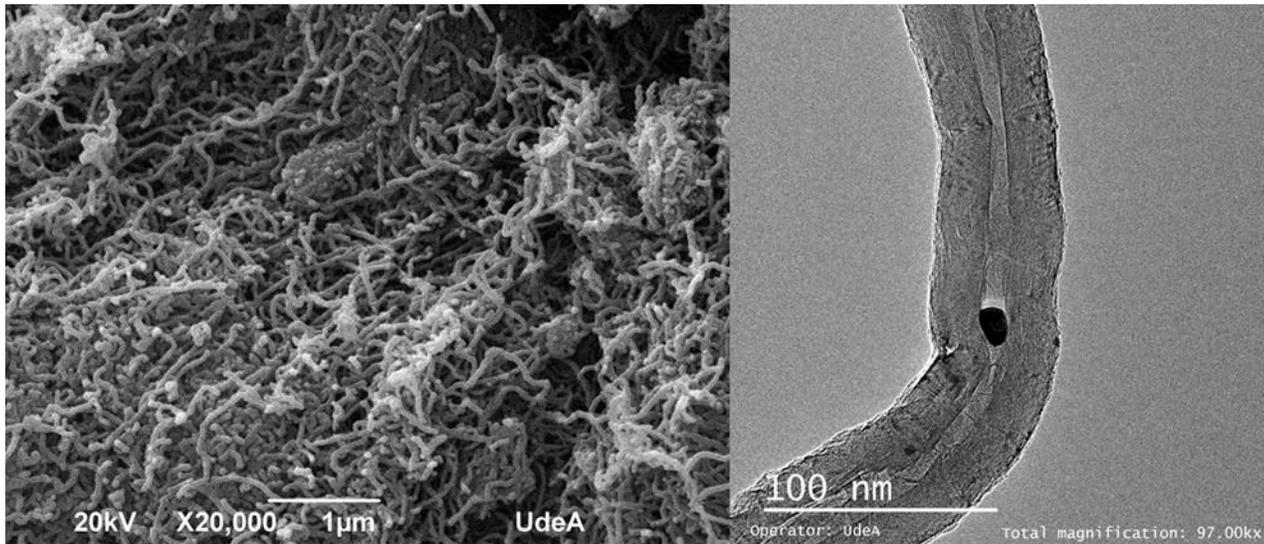
Aceite PAO, SWCNT, CVD  
(Cursaru et al., 2012)

Parameter	Unit	value
Linear velocity	m/s	1,0053096
wear track radius	mm	80
Pin radius	mm	6
Load	Kg	5
Cycle numer	-	3600
Linear distance	m	1809,5574
Test time	seg	1800
	min	30
Angular velocity	rpm	120



# RESULTADOS

## Caracterización de los nanotubos



# RESULTADOS

## Caracterización del motor

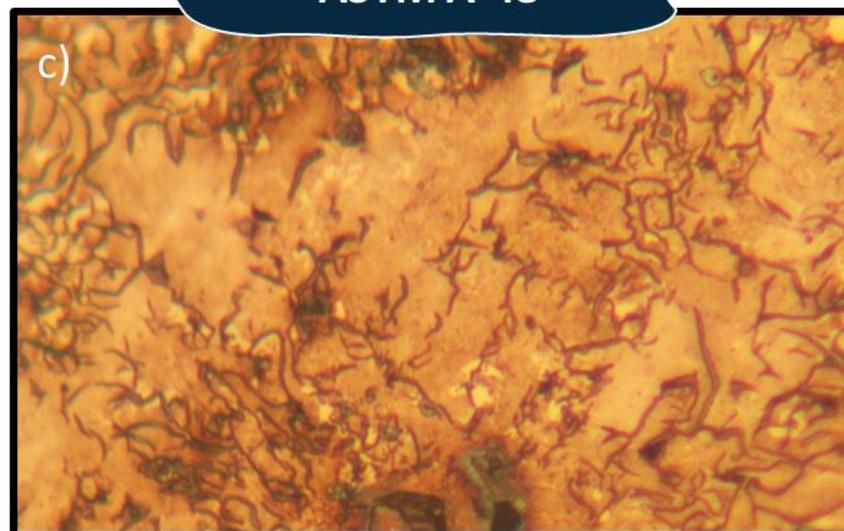
Anillo



Camisa



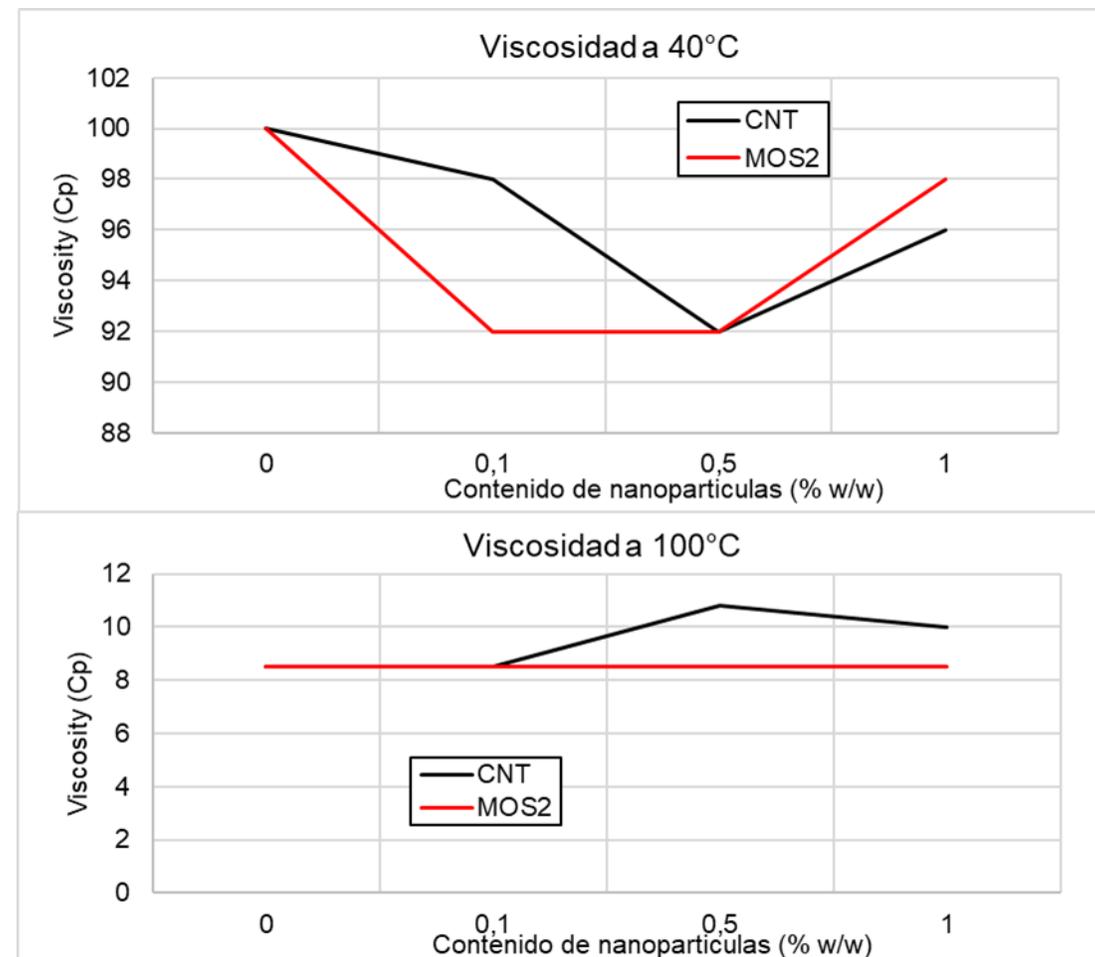
Material seleccionado  
ASTM A-48



ASM, *Metals Handbook. Metallography and microstructures.*, 9th ed., vol. 9. 1985.

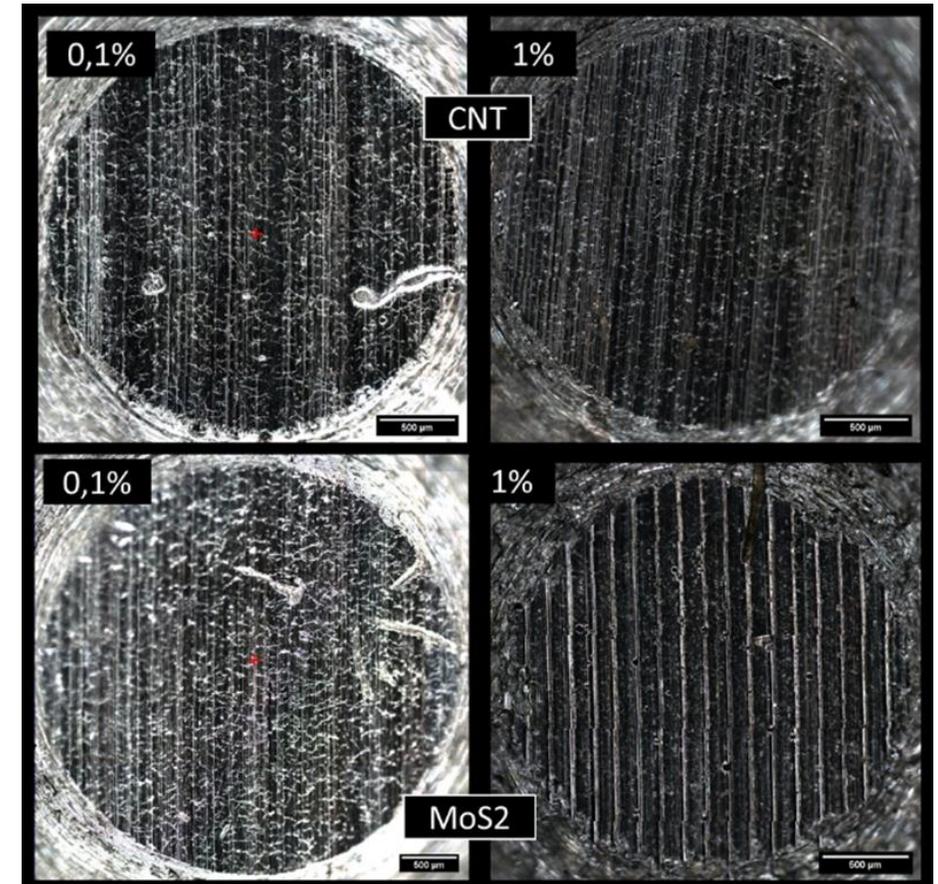
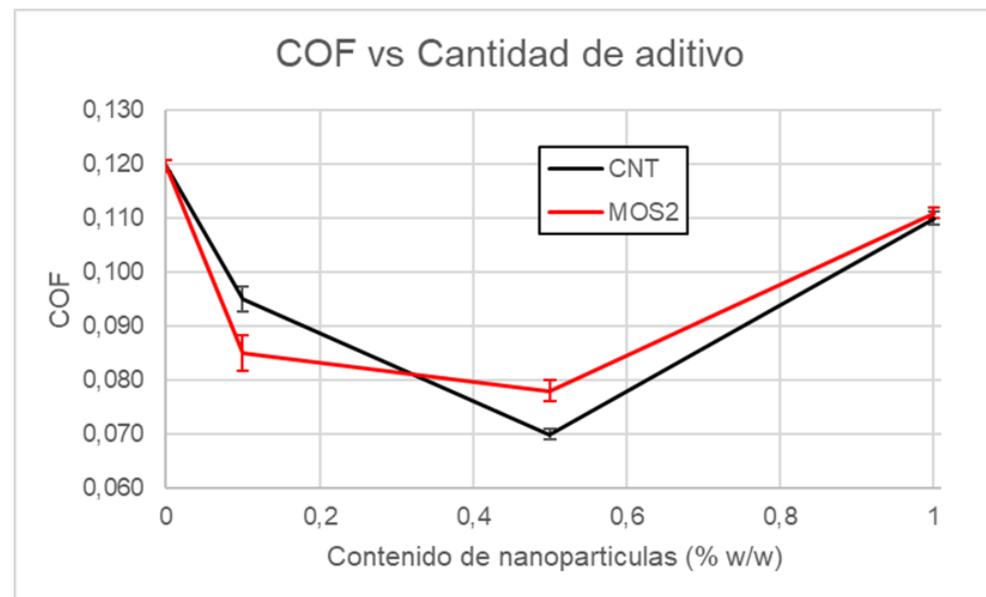
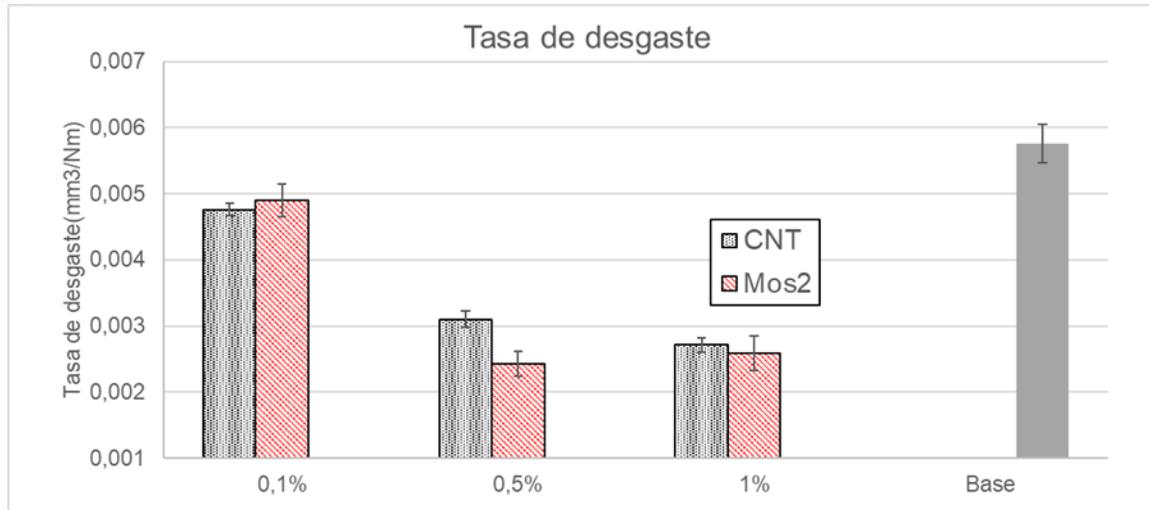
## Caracterización Reológica

- No hay cambios significativos en la viscosidad del lubricante
- Los lubricantes aditivados exponen pseudo plasticidad
- Los lubricantes probados se ajustan al modelo newtoniano



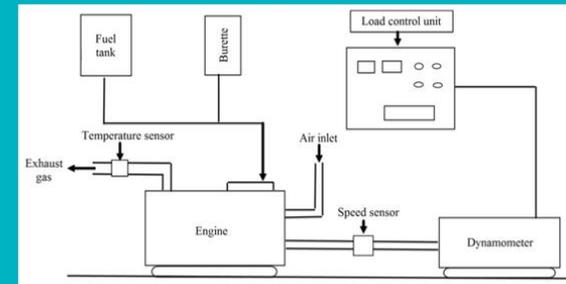
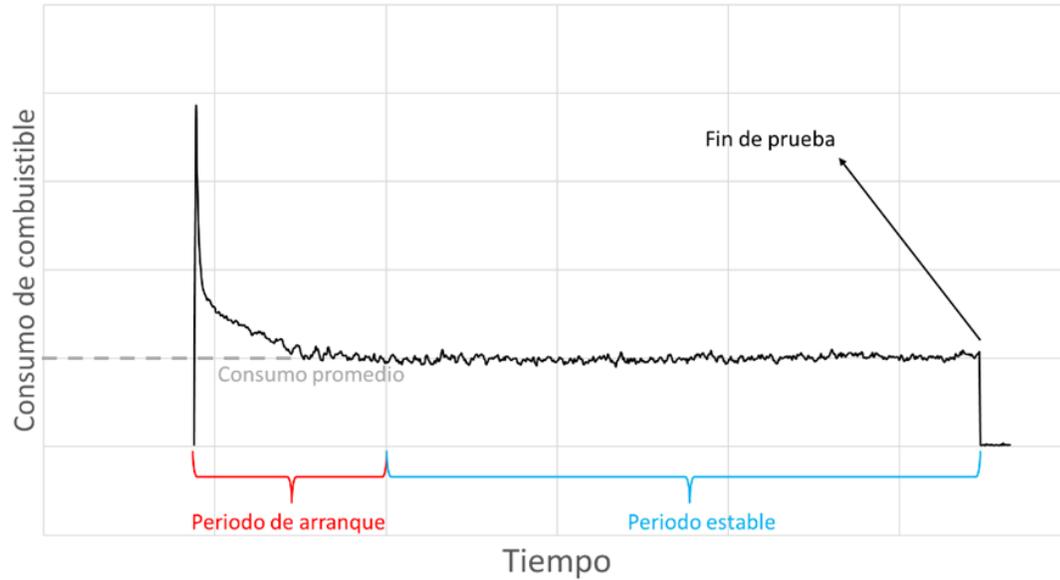
# RESULTADOS

## Evaluación tribológica – tasa de desgaste Pin disco

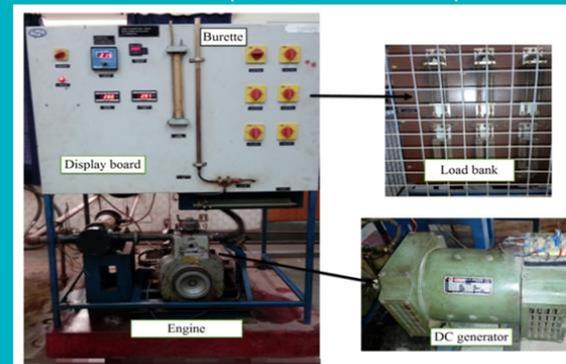


## Evaluación desempeño del motor

Grafica Ilustrativa de monitoreo de consumo de combustible

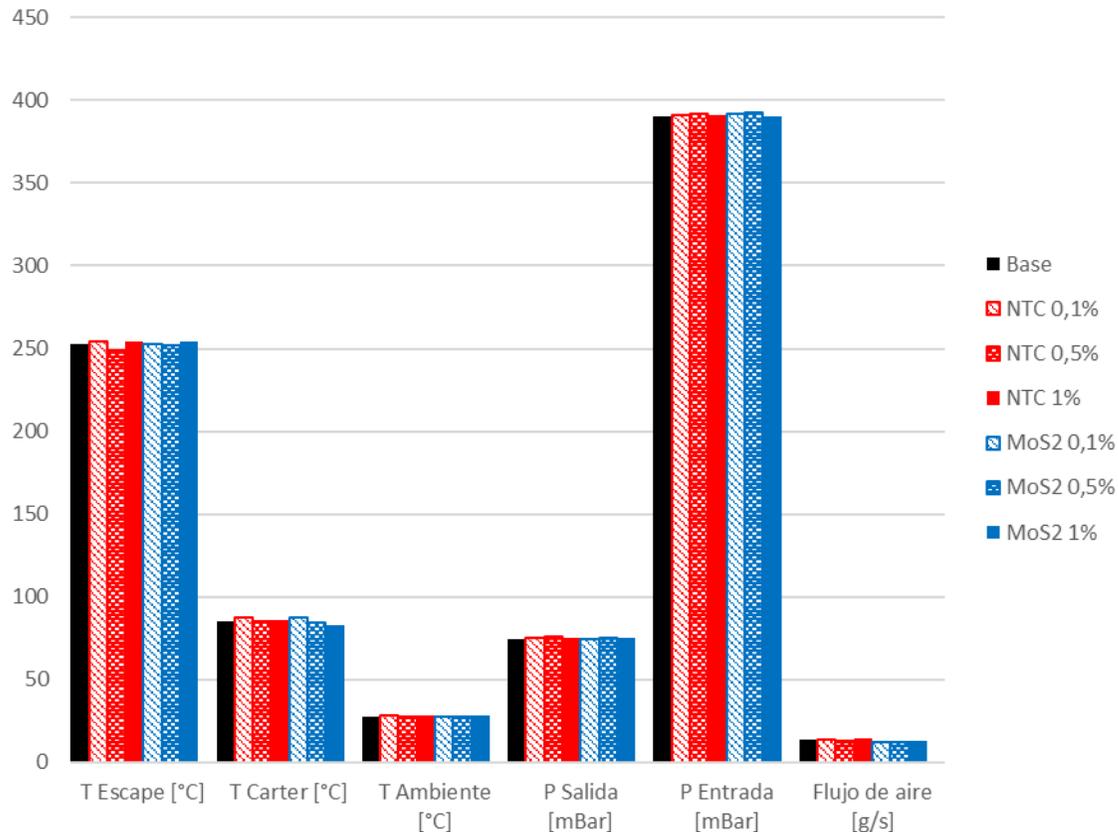


Nanopartículas Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Lubricante mineral  
(Kotia et al., 2018)

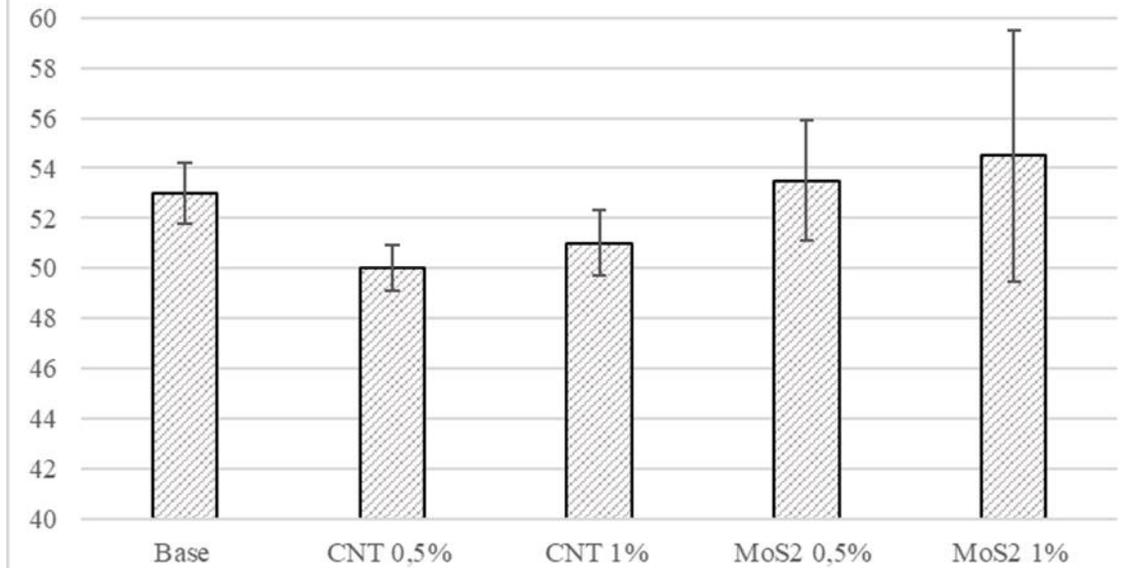


MWCNT, Lubricante mineral  
(Kaluzny, 2018)

Comportamiento de diferentes variables en motor



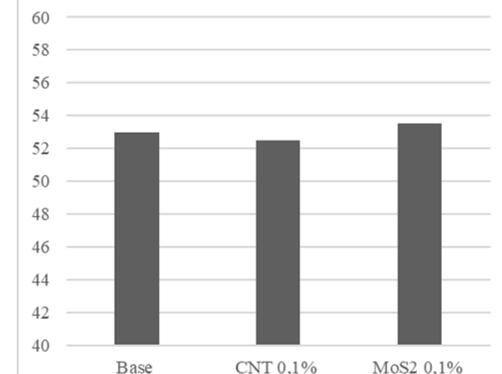
Consumo de combustible (mg/s)



Cambios en consumo	unidad	valor
Medido	[mg/s]	4,5
	[g/h]	16,2
En 8h de operación	[g]	129,6
En 1 mes de operación	[g]	3888
En 1 año de operación	[kg]	46,656
En la vida util del lubricante	[g]	8100
En la vida util del equipo	[kg]	559,872

\*Para el mejor consumo encontrado (0,5% NTC)

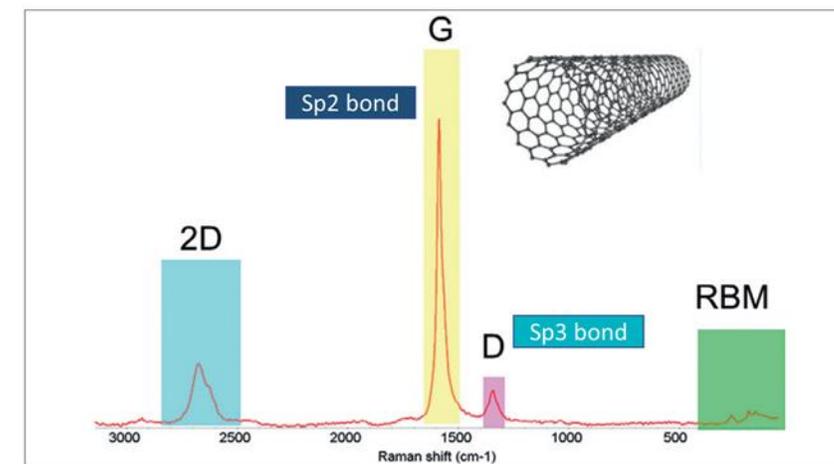
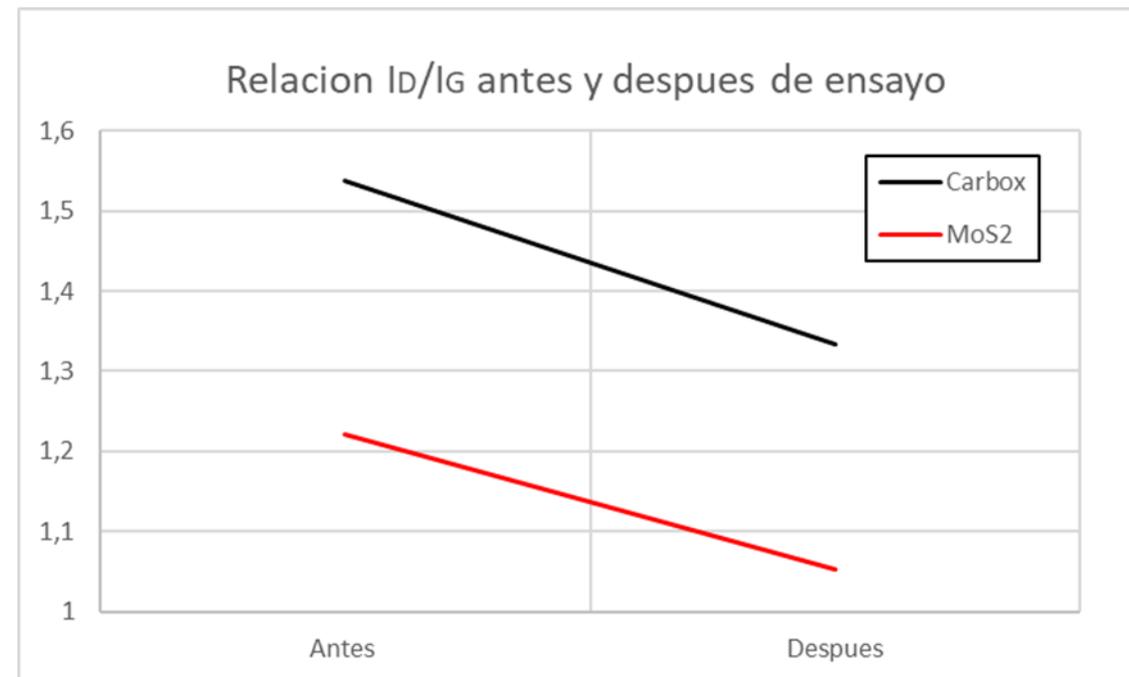
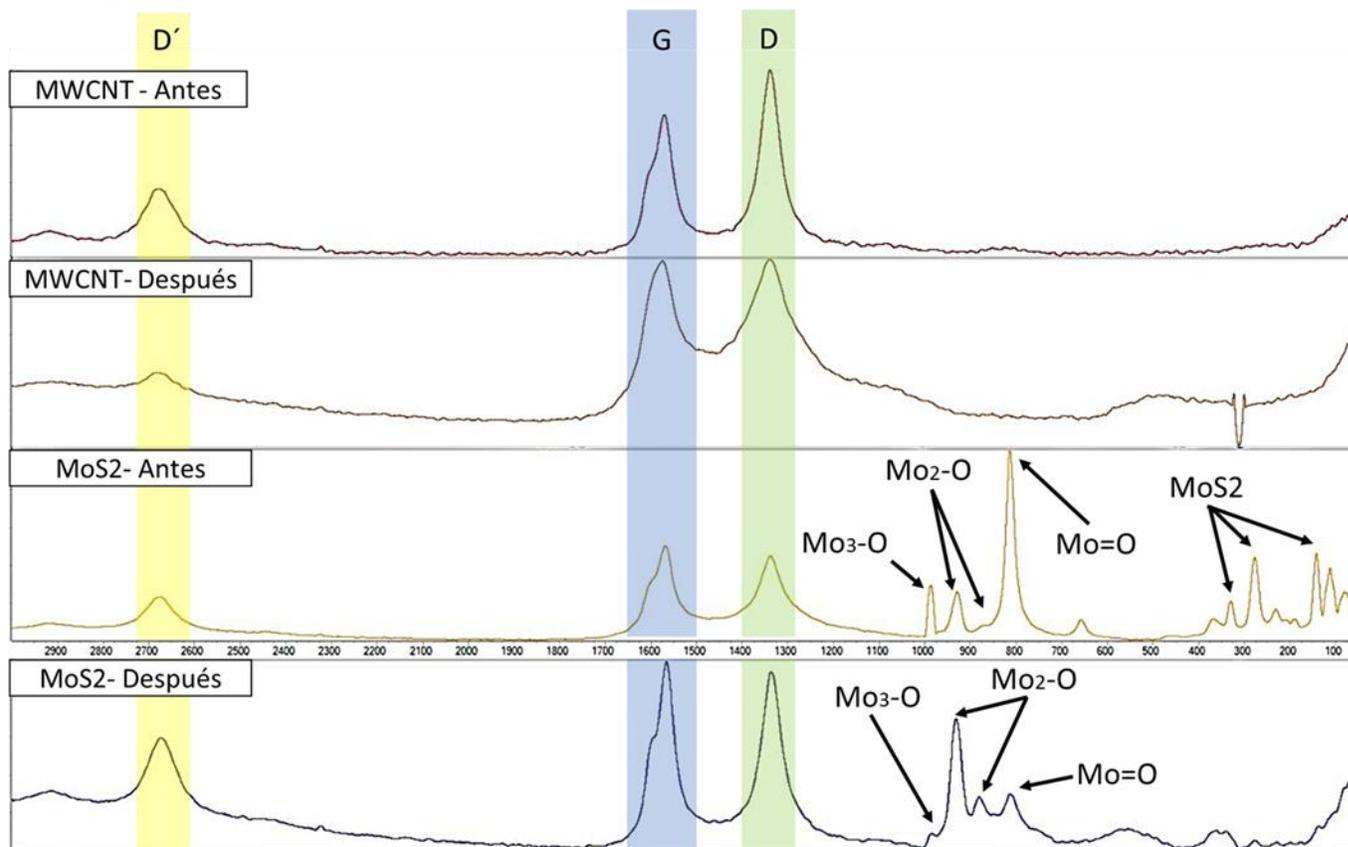
Consumo de combustible (mg/s)



Comportamiento de variables en motor

# RESULTADOS

## Espectroscopia Raman



# CONCLUSIONES

- *Para concentraciones menores al 1%, no hubo cambios reológicos significativos*, de modo que es viable aditivar el aceite hasta estas proporciones con nanotubos multicapa carboxilos o funcionalizados con MoS<sub>2</sub>
- Se evidenció un cambio en el desempeño del motor cuando se usan lubricantes modificados con nanotubos de ambos tipos: *disminución de consumo de combustible cuando se usan nanotubos carboxilos*, mientras que *con nanotubos funcionalizados con MoS<sub>2</sub> el consumo tiende a aumentar* debido a la generación de óxidos de molibdeno que añaden cargas.
- Existe un efecto al aditivar con nanotubos de carbono un aceite mineral para motores diésel: *disminución en el coeficiente de fricción*, el cual lleva a menos pérdidas de fricción no deseadas *reflejándose en un menor consumo de combustible*.
- Fue posible llegar a un acercamiento en el *mecanismo de funcionamiento de los nanotubos de carbono* como aditivos modificadores de fricción en lubricantes minerales, *los nanotubos se degradan en el contacto desde sus capas externas*.



# BIBLIOGRAFÍA

D. L. Cursaru, C. Andronescu, C. Pirvu, and R. Ripeanu, “The efficiency of Cobased single-wall carbon nanotubes (SWNTs) as an AW/EP additive for mineral base oils,” *Wear*, vol. 290–291, pp. 133–139, Jun. 2012, doi:

10.1016/j.wear.2012.04.019

J. A. C. Cornelio, P. A. Cuervo, L. M. Hoyos-Palacio, J. Lara-Romero, and A. Toro, “Tribological properties of carbon nanotubes as lubricant additive in oil and water for a wheel-rail system,” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 68–76, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.jmrt.2015.10.006.

J. A. C. Cornelio et al., “Development of multiwalled carbon nanotubes (MWCNT’s) functionalized with molybdenum disulfide (MoS<sub>2</sub>) by separate methodology,” *Diam. Relat. Mater.*, vol. 122, p. 108814, Feb. 2022, doi: 10.1016/J.DIAMOND.2021.108814.

K. P. Lijesh, S. M. Muzakkir, and H. Hirani, “Experimental tribological performance evaluation of nano lubricant using multi-walled carbon nano-tubes (MWCNT),” *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 10, no. 6, pp. 14543–14550, 2015, Accessed: May 12, 2021. [Online]. Available: <http://www.ripublication.com>. [14] J.

International ASTM, “Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-onDisk Apparatus 1 This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of Int,” 2017, doi: 10.1520/G0099-17.

# Que modificaciones a lubricantes con nanopartículas carbonosas han sido realizadas?

# BIBLIOGRAFÍA

Tipo de nanopartícula	Modificación	Lubricante	Concentraciones	Objetivo	Técnica de evaluación	Resultado	Fuente
Nanotubos multicapa	ZnO	SAE 10W40	0,05-0,08 Vol%	Evaluación reologica	Viscosímetro	Aumento de viscosidad con nanopartículas, siempre newtoniano	Goodarzi 2018
Nanotubos multicapa	TiO <sub>2</sub>	SAE 50	0,03125-1 vol%	Evaluación reologica	Viscosímetro	Estabilidad en Temperatura, comportamiento newtoniano	shababi 2017
Quantum dots	Oxido de grafeno	Base mineral	0-1 wt%	Evaluación tribologica	4 Bolas	condiciones de síntesis afectan COF en 15-20%	shang 2018
Nanotubos multicapa	-	SAE 20W50	0,1-0,5 wt%	Evaluación reologica	Viscosímetro	aditivación trae un aumento de 5 cSt para 0,5% de MWCNTs	Etteffagui 2013
Nano cuernos mono pared	-	SAE40	0,005-0,02 vol%	Evaluación tribologica	Pin Disco	Disminución de COF de 4% y tasa de desgaste de 6%	Zn 2014
Carbono mesoporoso	-	Aceite mineral	1 wt%	Evaluación tribologica	Pin disco	Aumento en capacidad de carga de lubricante de 40% con aditivación	Baik 2008
grafito	-	Base mineral	1 wt%	Evaluación tribologica	4 Bolas	Disminución de Tasa de desgaste hasta 50% según tamaño de partícula	Gupta 2018
Nanotubos monocapa	-	PAO6	0,01-0,2 wt%	Evaluación reologica	Modelamiento	variación de índice de viscosidad hasta de 33% con aditivación	Vakili 2012
Esferas de carbono	-	SAE 5W30	3 wt%	Evaluación tribologica	Pin Disco	reducción de COF de hasta 16% usando concentración de 3%	Alazemi 2015
Nanotubos multicapa	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SAE 40	0-1 vol%	Evaluación reologica	Modelamiento/ Viscosímetro	Aumento de la viscosidad con aditivación, especialmente a altas T	Dardan 2016
Nanotubos multicapa	Ag	Agua	0,05-3%	Evaluación termica	Conductividad termica	aumento de conductividad termica de hasta 15% con MWCNTs	Munkhbayar 2013
Grafeno	-	Base mineral	0,25-0,75 wt%	Evaluación tribologica	bola reciprocante	Reducción de COF de hasta 46% con aditivación	Gan 2020
Nanotubos multicapa	MgO	SAE 50	0,0625-1 vol%	Evaluación reologica	Modelamiento por red neural	predicción de viscosidad usando redes neuronales	Alirezaie 2020
Grafeno	ZnO	Base Esterica	0,2-2 wt%	Evaluación tribologica	4 Bolas	Reducción de COF de hasta 14% y 12% de tasa de desgaste	Ren 2020
Nanotubos multicapa	ZnO	SAE 40	0,05-1 vol%	Evaluación reologica	Modelación/ Viscosímetro	correlación de viscosidad vs cantidad de aditivo	Hemmat 2017
Nanotubos multicapa	SiO <sub>2</sub>	SAE 10W40	0,05-1 vol%	Evaluación reologica	Viscosímetro	Descripción de viscoelasticidad, siempre modelo newtoniano	Nadooshan 2017
Nanotubos multicapa	Mg(OH) <sub>2</sub>	SAE 5W50	0,25-2 wt%	Evaluación termica	Teorica	correlación entre viscosidad, T y conductividad termica	Asadi 2018
Nanotubos multicapa	TiO <sub>2</sub>	SAE 40	0,0625-1 vol%	Evaluación reologica	Viscosímetro	Variaciones de viscosidad menores a 1%	Hemmat 2018
Diamante	-	Aceite Ester de poliol	0,1 wt%	Evaluación tribologica	bola reciprocante	reducción de COF de hasta 11%	Marcucci 2020
Nanotubos multicapa	SiO <sub>2</sub>	SAE 10W40	0,05-0,5 vol%	Evaluación reologica	Modelamiento por red neural	predicción de viscosidad usando redes neuronales	Nadooshan 2017



VIGILADA  
Ministerio de Educación



INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA  
**PASCUAL BRAVO®**

# ¡Gracias!

Grupo GIEN



IUPascualBravo



Tradición  
Transformación  
Innovación



Alcaldía de Medellín  
Distrito de  
Ciencia, Tecnología e Innovación