

Aceites lubricantes de motor de baja viscosidad: ahorro de combustible y comportamiento. ¿Qué puede esperarse en su uso real?

Dr. Bernardo Tormos

Santa Fe – Argentina

31 Agosto 2018

MTL
2 0 1 8



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

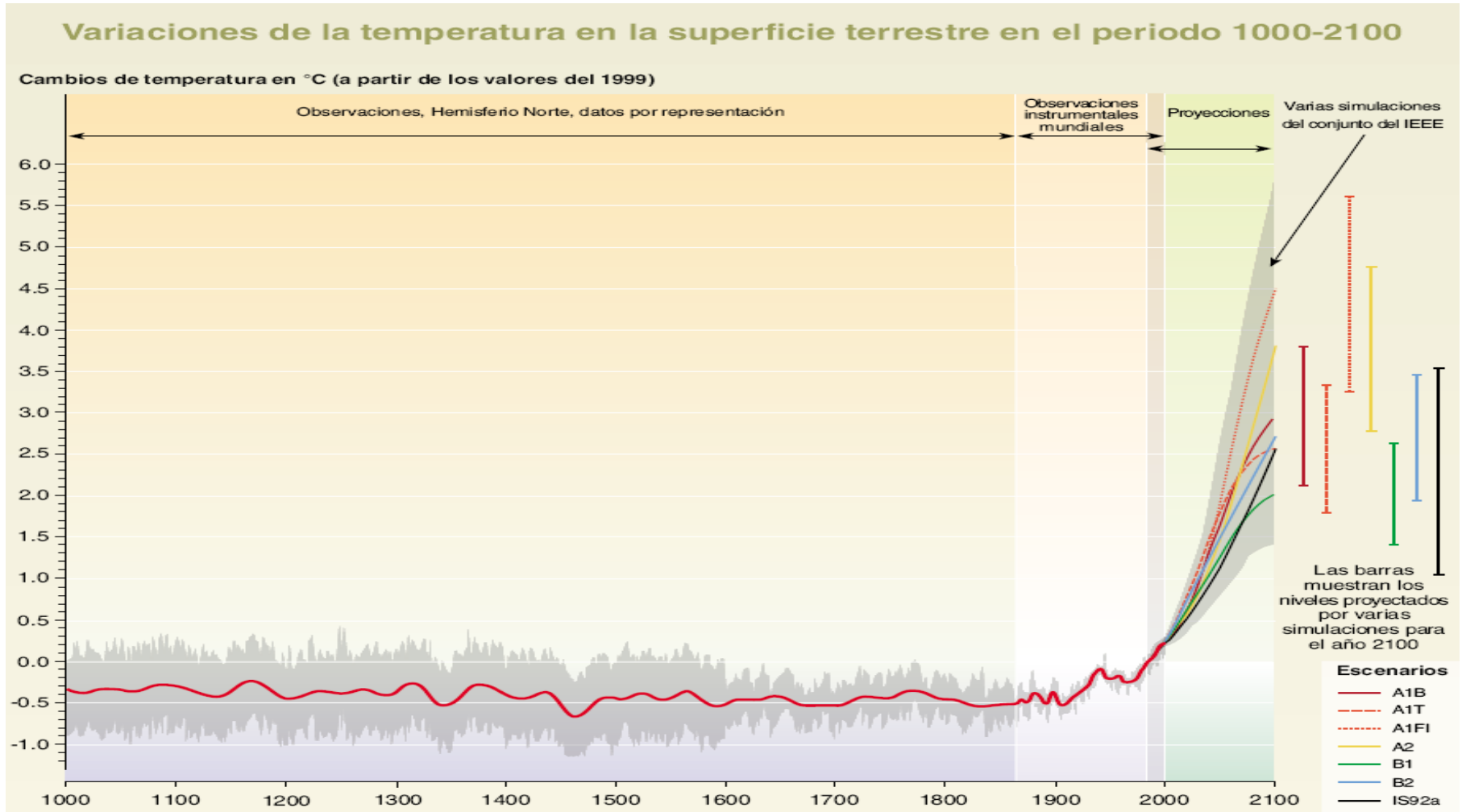


INDICE

- CO₂ y el problema del Transporte
- Soluciones al problema: revolución o evolución
- Aceites de baja viscosidad (LVO)
 - Principios de comportamiento
 - SAE J300
 - Incertidumbre en el uso
- Objetivos del Proyecto
 - Desarrollo
 - Detalles
- Resultados y análisis
 - Consumo
 - Comportamiento del aceite
- Trabajos futuros

CO2 Y EL PROBLEMA DEL TRANSPORTE

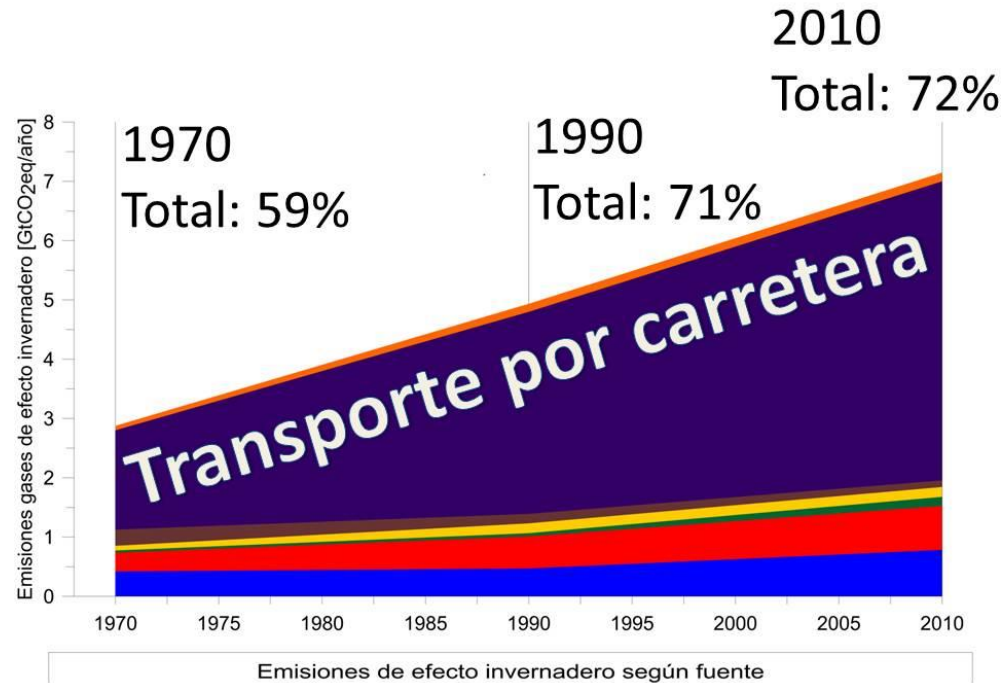
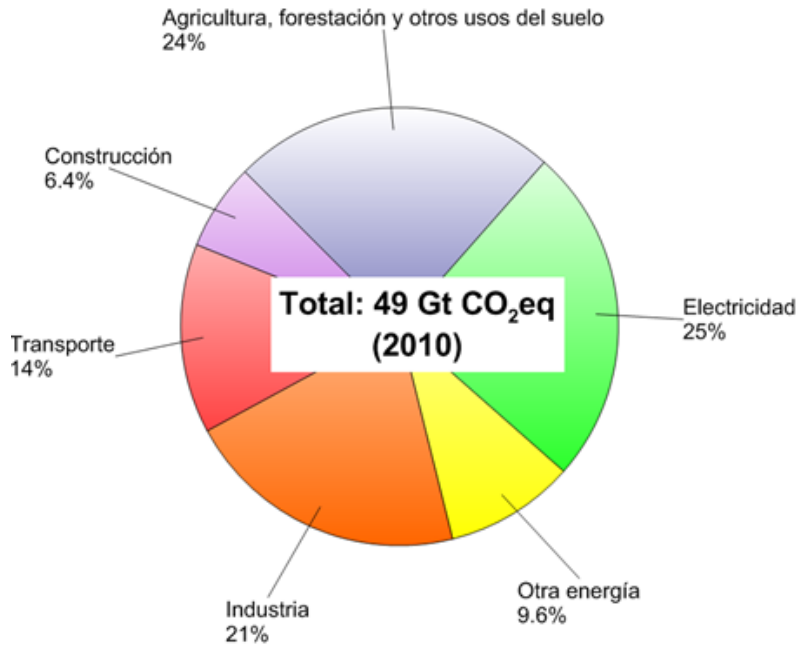
Intergovernmental Panel on Climate Change – Climate Change Report 2014



CO2 Y EL PROBLEMA DEL TRANSPORTE

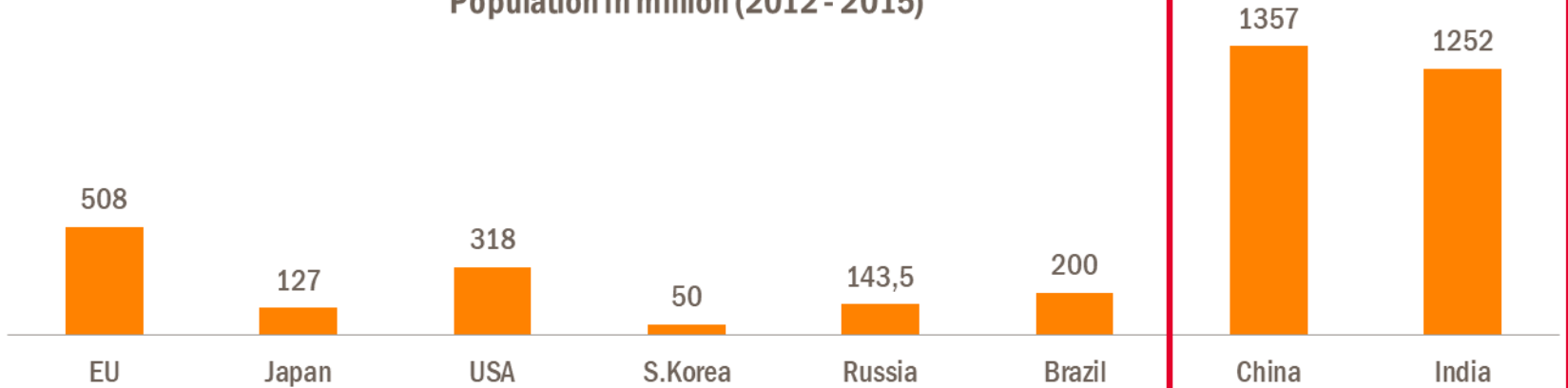
Intergovernmental Panel on Climate Change – Climate Change Report 2014

Emisiones antropogénicas totales de gases de efecto invernadero (Gt CO₂ eq/año) por sectores económicos

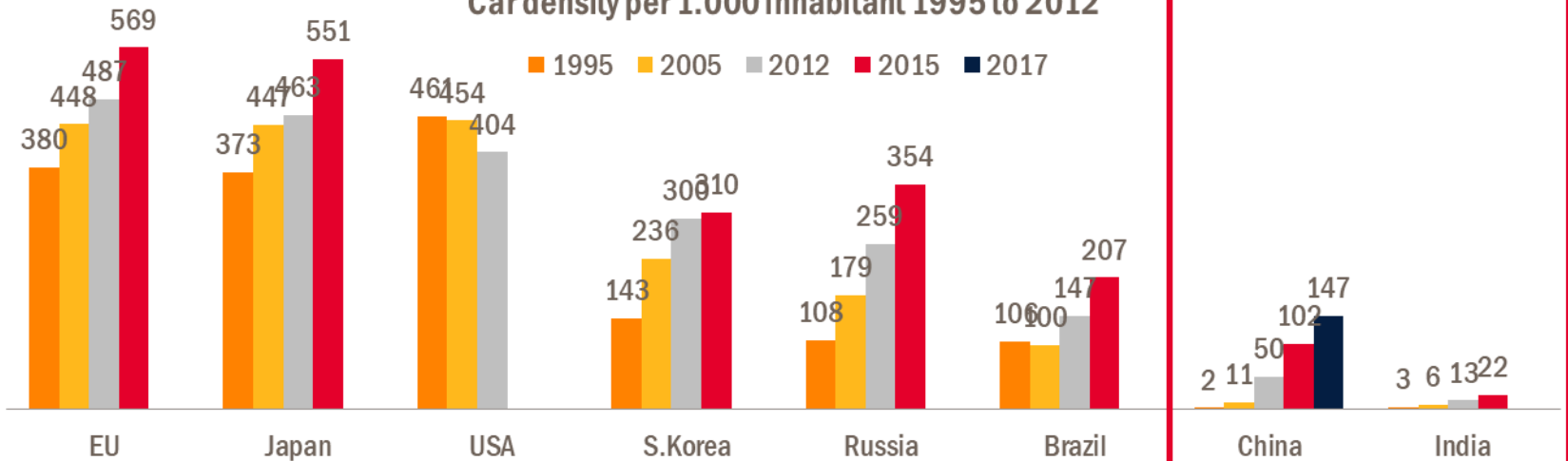


CO2 Y EL PROBLEMA DEL TRANSPORTE

Population in million (2012 - 2015)

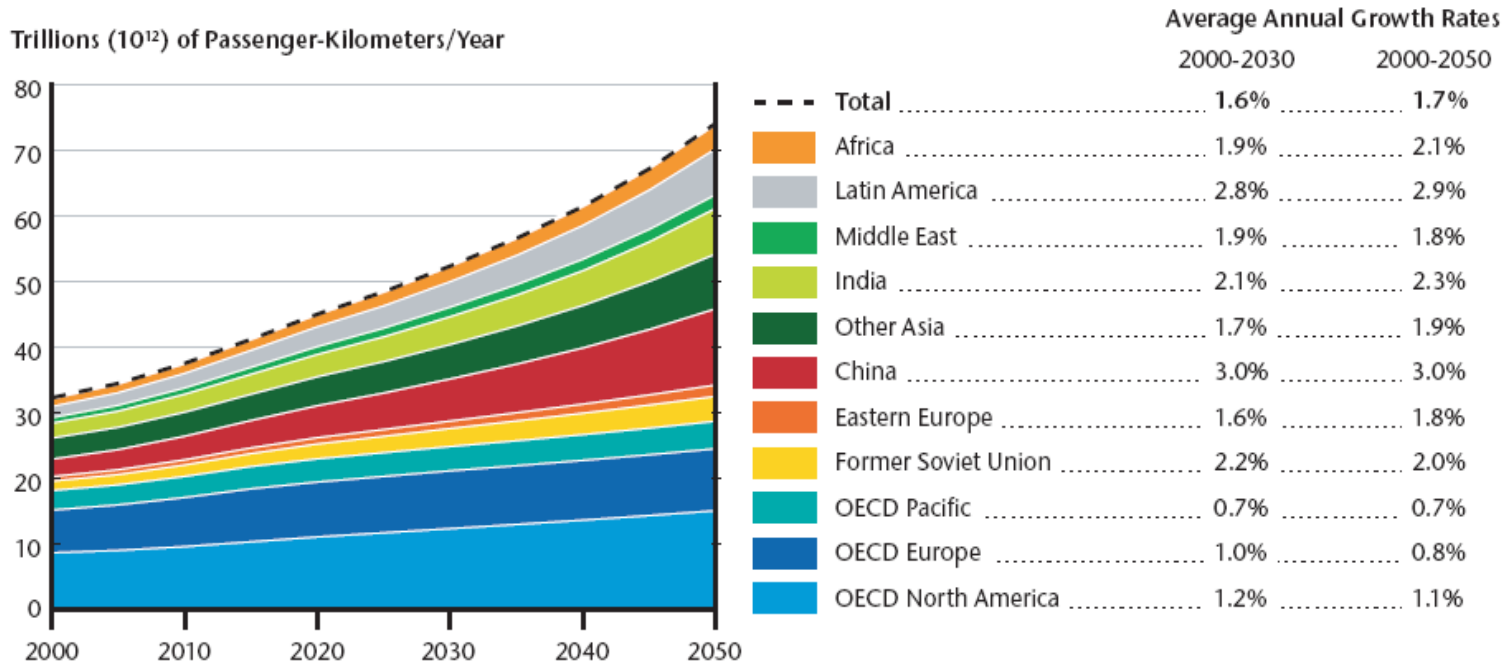


Car density per 1.000 inhabitant 1995 to 2012



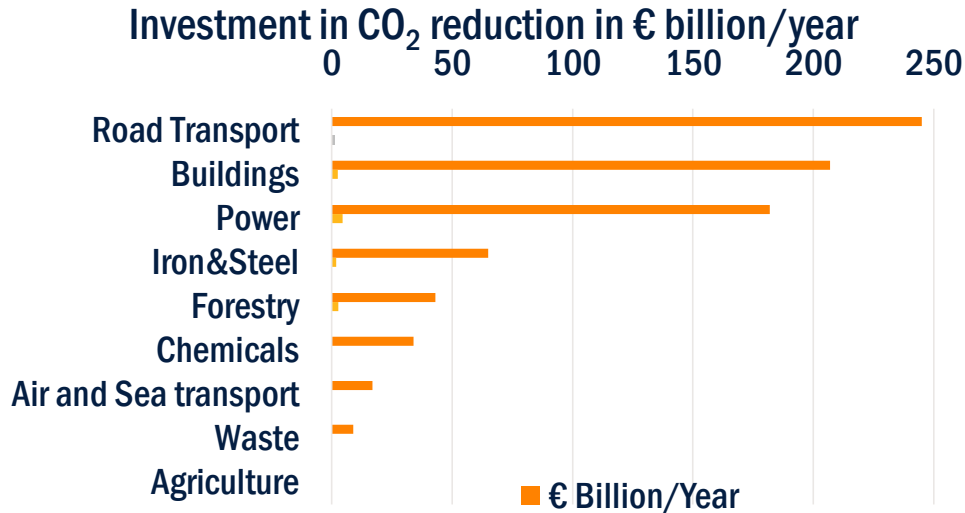
CO2 Y EL PROBLEMA DEL TRANSPORTE

Sustainable Mobility Project (SMP): estimaciones de demanda de transporte



Source:
Sustainable Mobility Project calculations.

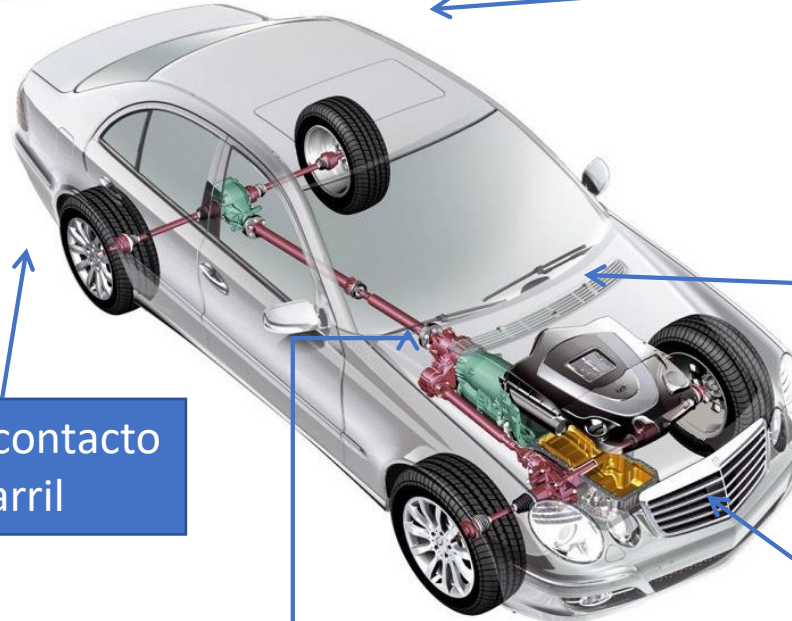
INVERSION DEL SECTOR DEL TRANSPORTE



- Reduction potential in transport is low in comparison to the high costs
- Auto manufacturers have made major investments to deliver significant improvements
- So far, the auto industry has been treated disproportionately.
- At the same time, no other sector has made such progress (-39% in 15 years)
- Introduction of these cleaner vehicles, supported by fleet renewal, will play a strong role in helping cities move towards compliance with EU air quality (NO₂ concentration) and CO₂ targets.

Sector	Overall decline 2005-2020	Annual decline 2013-2020
Overall	-20%	
ETS sectors	-21%	-1.74%
Energy & industry	-21%	-1.74%
Aviation	-5%	-0.45%
Non-ETS sectors	-10%	
New cars	-42%	-2.80%

SOLUCIONES AL PROBLEMA: REVOLUCIÓN O EVOLUCIÓN?



Reducción de peso estructural

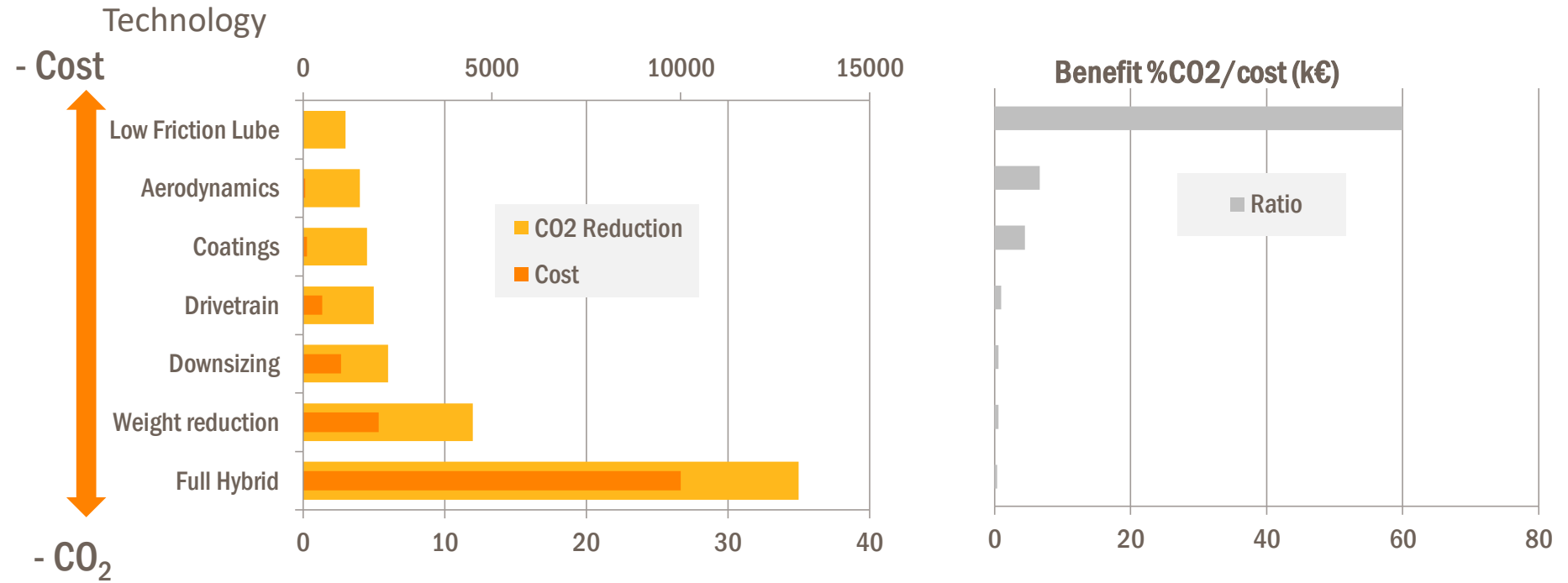
Downsizing
Sobrealimentación
Lightweighting
Hibridación
Post-tratamiento gases de escape
Aceites de baja viscosidad

Mejora contacto rueda-carril

CVT: Transmisión

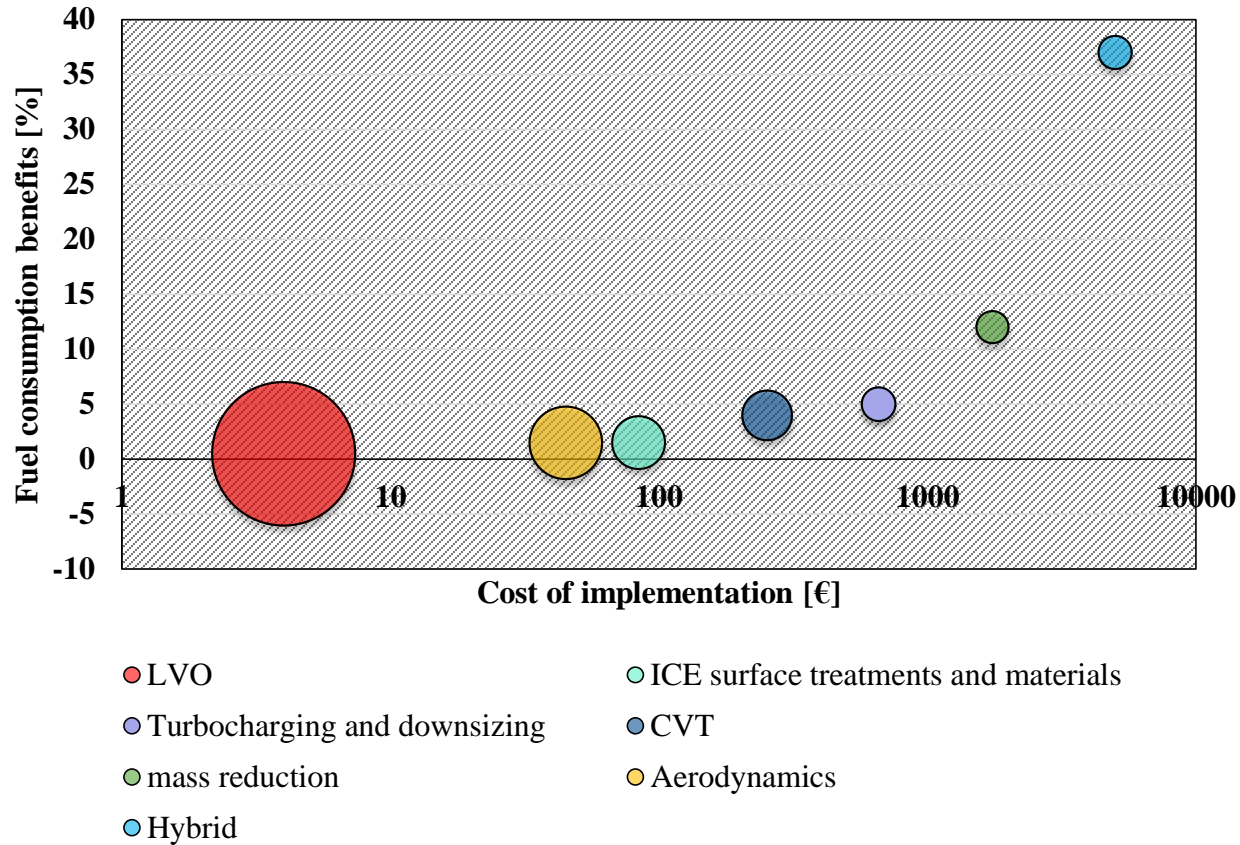
Mejoras aerodinámicas

SOLUCIONES AL PROBLEMA: REVOLUCIÓN O EVOLUCIÓN?



SOLUCIONES AL PROBLEMA: REVOLUCIÓN O EVOLUCIÓN?

*Estimaciones para un LDV con motor V6 - National Research Council (USA) 2011.



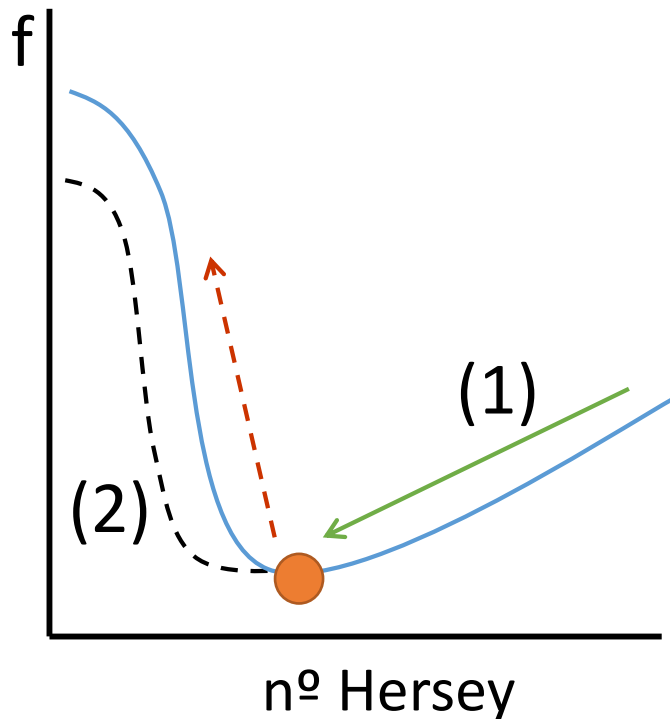
ACEITES DE BAJA VISCOSIDAD – Principios de comportamiento

↓ Fricción en contactos

↓ Pérdidas mecánicas

↓ Consumo combustible

↓ Emisiones CO_2 , NO_x



Dos estrategias:

1. Reducción de la viscosidad en régimen hidrodinámico
2. Mejora de la fricción en lubricación mixta o límite mediante films superficiales

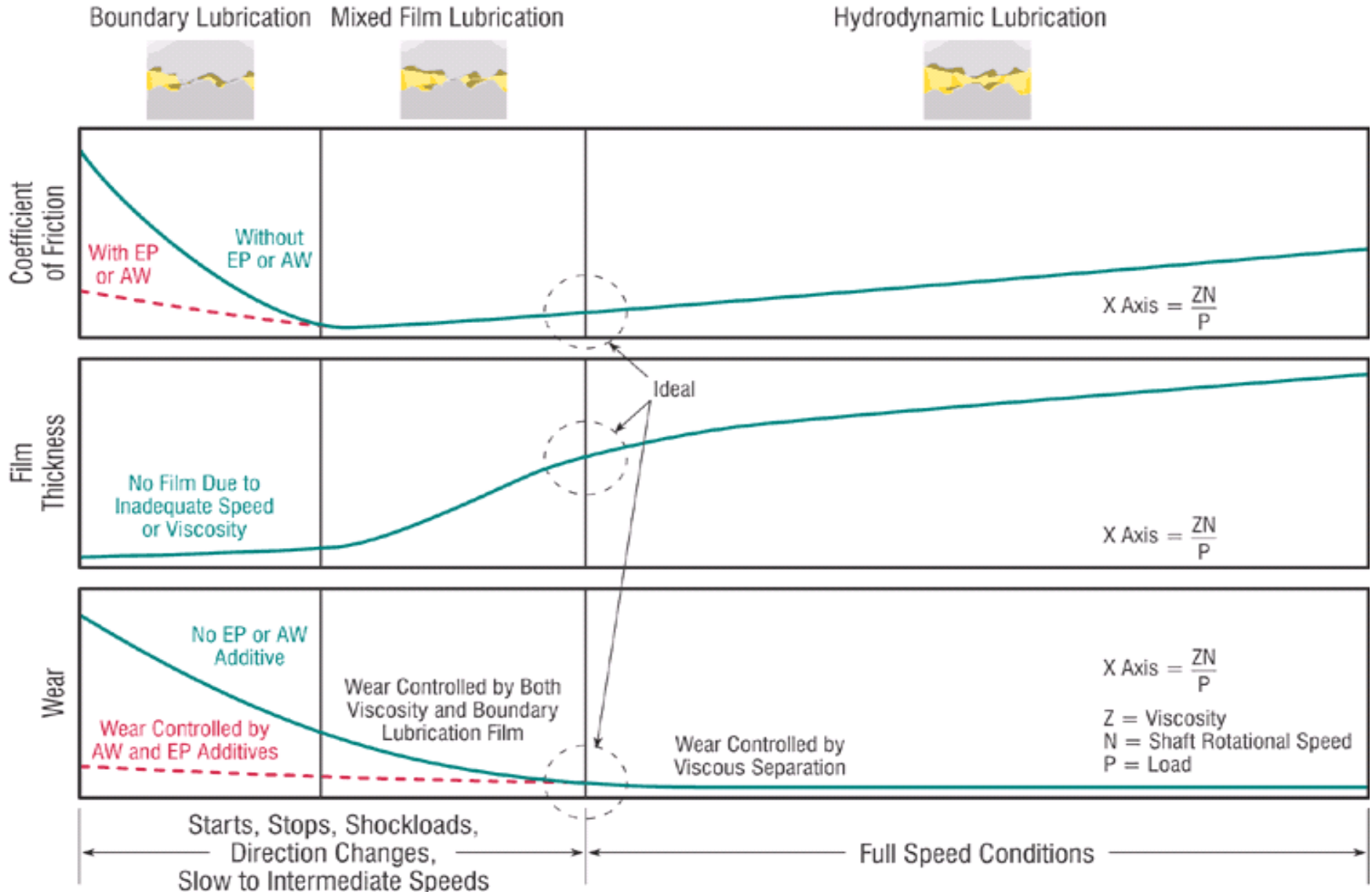
ACEITES DE BAJA VISCOSIDAD – SAE J300 para aceites de motor

Grado SAE	Arranque a ↓T máx (cP@°C) ⁽¹⁾	Bombeabilidad a ↓T máx (cP@°C) ⁽²⁾	@100°C (cSt) ⁽³⁾		Alto esfuerzo cortante. y @150°C (HTHS). mín. (cP) ⁽⁴⁾
			Mín.	Máx.	
0W	6200 @ -35	60000 @ -40	3,8		
5W	6600 @ -30	60000 @ -35	3,8		
10W	7000 @ -25	60000 @ -30	4,1		
15W	7000 @ -20	60000 @ -25	5,6		
20W	9500 @ -15	60000 @ -20	5,6		
25W	13000 @ -10	60000 @ -15	9,3		
8 (Enero 2015)			4,0	<6,1	1,7
12 (Enero 2015)			5,0	<7,1	2,0
16 (Abril 2013)			6,1	<8,2	2,3
20			6,9	<9,3	2,6
30			9,3	<12,5	2,9
40			12,5	<16,3	3,5*
40			12,5	<16,3	3,7**
50			16,3	<21,9	3,7
60			21,9	<26,1	3,7

1) ASTM D-5293 2) ASTM D-4684 3) ASTM D-445 4) ASTM D-4683 / D-4741 o CEC-L-36-A-90

La viscosidad HTHS está considerada como representativa de los contactos tribológicos en MCIA y muy relacionada con el consumo de combustible (van Dam et al. “Taking Heavy Duty Diesel Engine Oil Performance to the Next Level, Part 1: Optimizing for Improved Fuel Economy”. SAE Technical Paper 2014-01-2792 (2014).

ACEITES DE BAJA VISCOSIDAD – Incertidumbre en el uso



OBJETIVOS DEL PROYECTO

Evaluación del uso de aceites de baja viscosidad en MCIA del segmento HD

Consumo de combustible

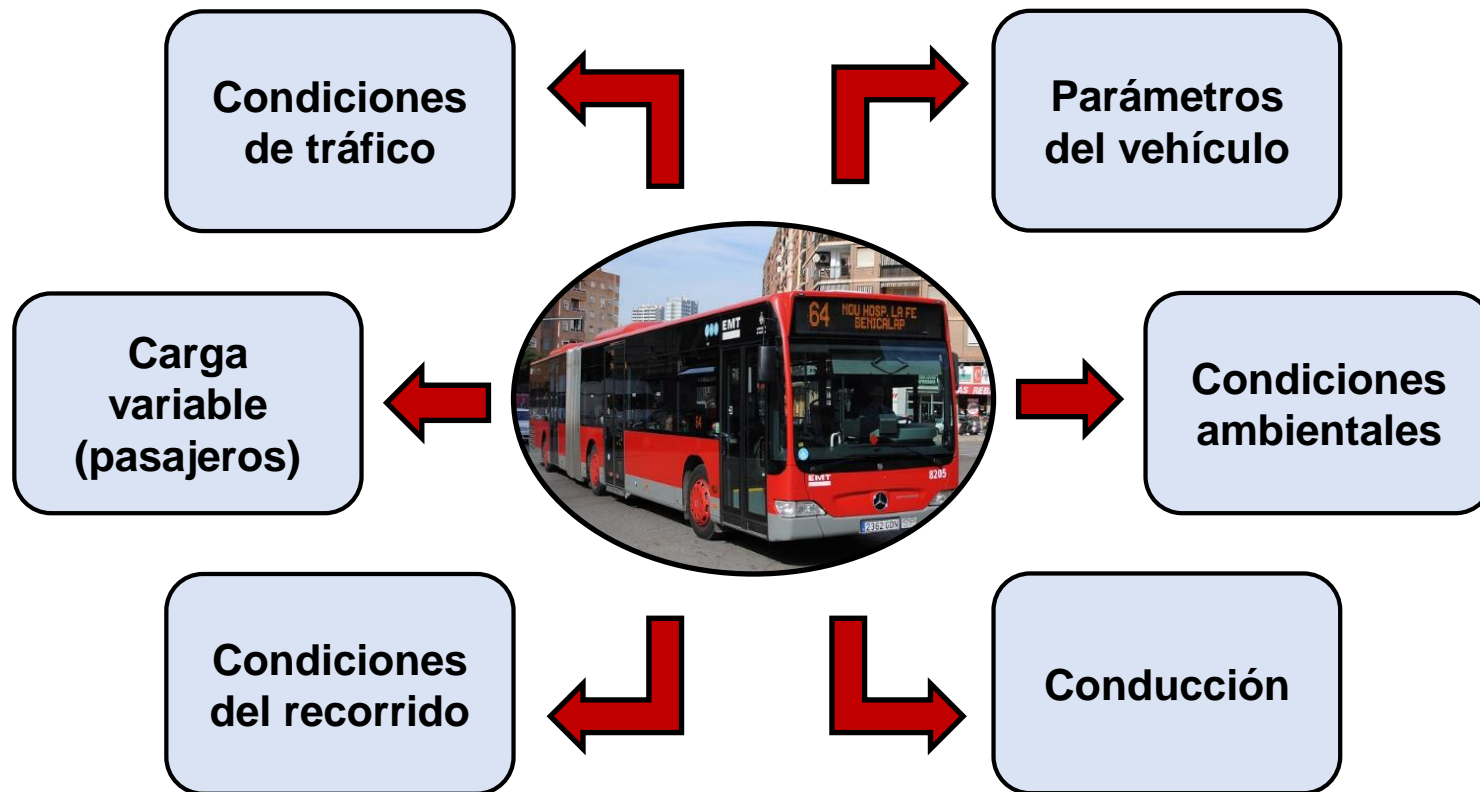
- Encontrar el orden de magnitud de diferencia de consumo entre aceites.
- Determinar si la diferencia de consumo se mantiene durante todo el intervalo de cambio de aceite.

Desgaste motor/ comportamiento del aceite

- Evaluar los posibles efectos en la tasa de desgaste y los efectos sobre la vida útil del motor.
- Estudiar la degradación del aceite durante el periodo de servicio.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

Fuentes de variación en el consumo de combustible en flota



- Condiciones adversas para alcanzar repetitividad.
- Alta cantidad de datos para encontrar una distribución normal

OBJETIVOS DEL PROYECTO

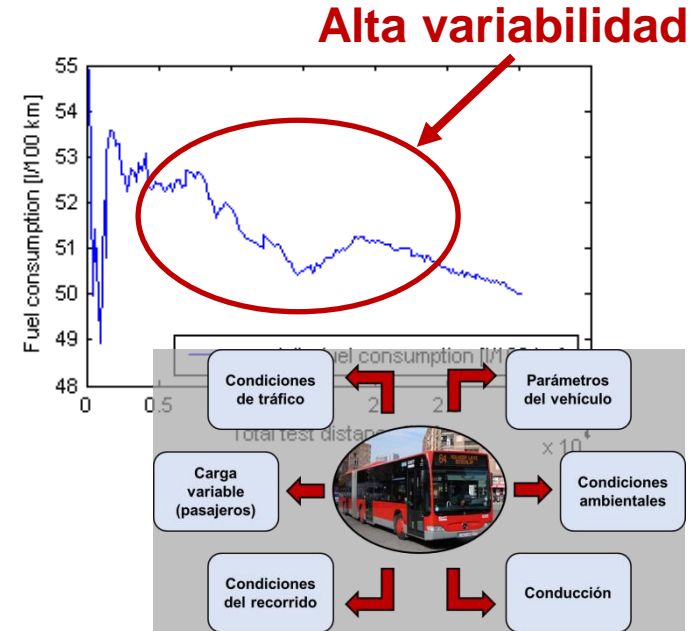
Por día de trabajo



$$\frac{\text{refueling [L]}}{\text{Mileage [km]}}$$



Tomado directamente del GMAO / Estimado a partir de los valores de presión en autobuses GNC.



Número elevado de ensayos:

- Largos periodos - ODI (km).
- N° importante de vehículos.

Control de variables:

- Análisis por tipo de vehículo.
- Trabajo en una única línea.

Registro de variables no controladas:


- Condiciones ambientales.


Estudio ANOVA:


- Incluyendo los demás efectos mencionados.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

Análisis de tipo comparativo

20 CNG - EEV	
	
10 SAE 5W30	10 SAE 10W40

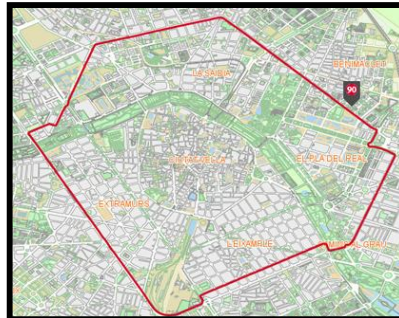
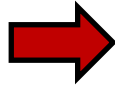
9 Diesel Euro IV articulados	
	
4 SAE 5W30	5 SAE 10W40

10 Euro V standard	
	
5 SAE 5W30	5 SAE 10W40

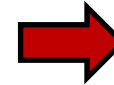
OBJETIVOS DEL PROYECTO



9 Diesel Euro IV articulados



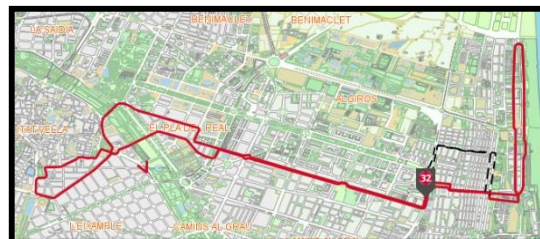
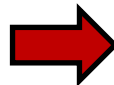
Línea 90



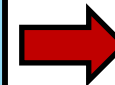
- Longitud: 12,3 km
- Vel prom: 13,5 km/h
- N° paradas: 36
- Tipo de recorrido: Circular



10 Diesel Euro V



Línea 32

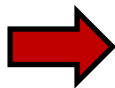


- Longitud: 15,2 km
- Vel prom: 12,1 km/h
- N° paradas: 59
- Tipo de recorrido: Urbano

OBJETIVOS DEL PROYECTO

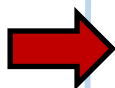


20 GNC EEV



12 Autobuses Línea 10

- Longitud: 17,5 km
- Vel prom: 11,1 km/h
- N° paradas: 66
- Tipo de recorrido: Urbana



- Longitud: 18,7 km
- Vel prom: 15,1 km/h
- N° paradas: 61
- Tipo de recorrido: Extraurbano



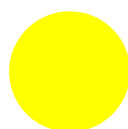
8 Autobuses Línea 62

DETALLES DE LA PRUEBA

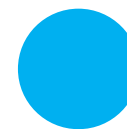
Parámetro	Técnica/Equipo	Norma
Viscosidad cinemática @40°C & @100°C	Viscosímetro capilar	ASTM D-445
Viscosidad dinámica HTHS	Viscosímetro HTHS CANON Series II	ASTM D-5481
TAN	Valorador potenciométrico automático ORION 950	ASTM D-664
TBN		ASTM D-2896
Oxidación	Espectrómetro FT-IR A2 Technologies IPAL	CMT-0080-11
Nitración		CMT-0081-11
Aditivos amínicos		CMT-0124-12
Aditivos antidesgaste		CMT-0120-12
Materia carbonosa		ASTM E-2412
Dilución		ASTM E-2412
Glicol		ASTM E-2412
Contenido de Agua		Titulador Karl-Fischer GrScientific Aquamax
Metales desgaste y aditivación	Espectrómetro ICP-OES Spectroflame SOP Espectrómetro ICP-OES Thermo iCAP 7400	ASTM D-5185



Degradación



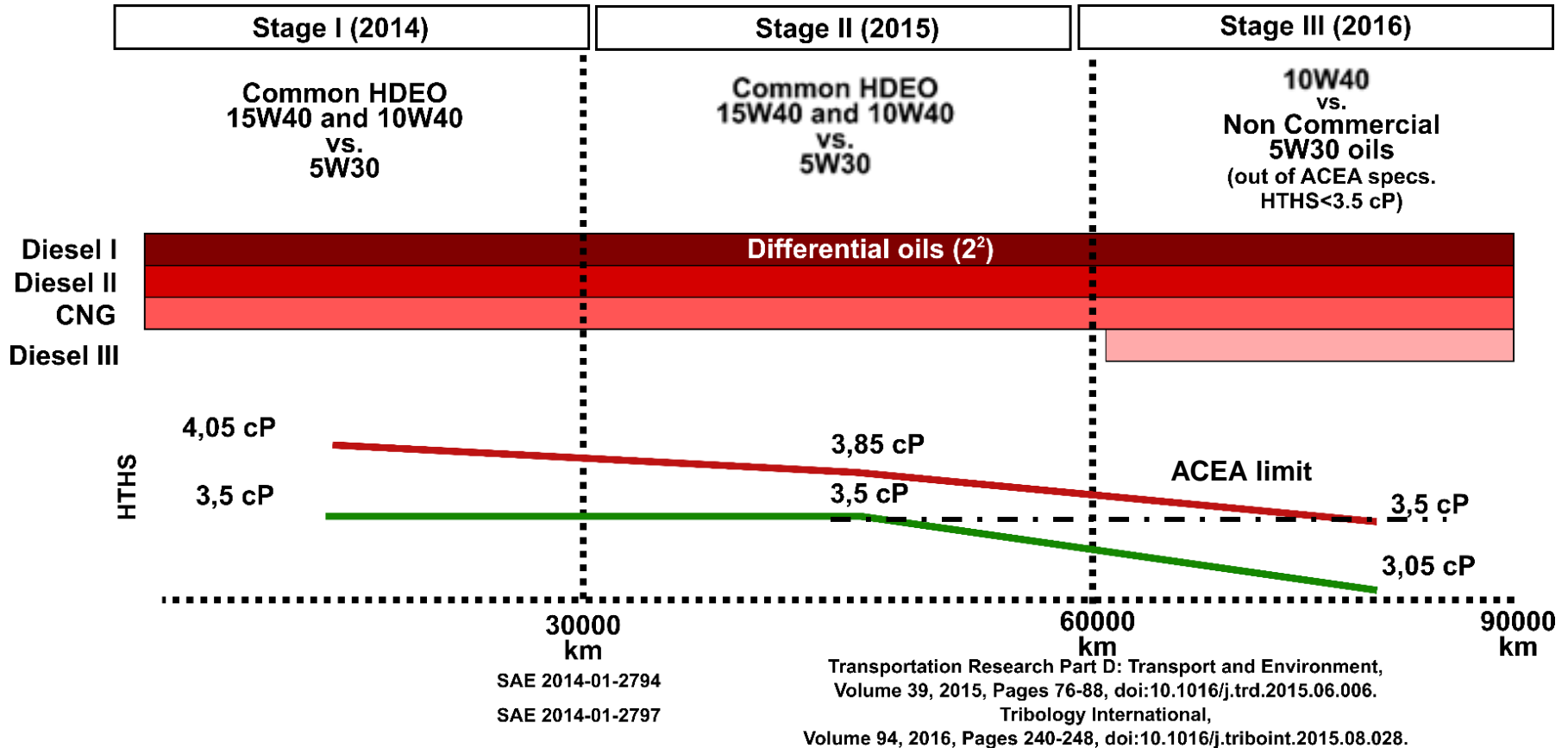
Contaminación



Desgaste

V. Macián, B. Tormos, Y. A. Gómez & J. M. Salavert (2012): Proposal of an FTIR Methodology to Monitor Oxidation Level in Used Engine Oils: Effects of Thermal Degradation and Fuel Dilution, Tribology Transactions, 55:6, 872-882

DESARROLLO DEL PROYECTO



OBJETIVOS – Stage III

Evaluation of non-commercial formulations of low viscosity oils on HD-ICE in a real fleet test

- HTHS < 3.5 cP (out of ACEA specs)
- Not approved by engine manufacturers

Fuel economy

- To assess if that oils could extend the fuel economy benefits shown by CJ-4 SAE 5W30 oils in previous tests.

SAE 2017-01-2353

Engine wear & oil performance

- To evaluate the effect of reducing the HTHS viscosity as low as 3.05 cP in Heavy Duty engines.
- Assure the capability of that oils to complete the fleet standard ODI.

SAE 2017-01-2351

VEHICULOS DE LA PRUEBA

Bus Model	Diesel I	Diesel II	CNG	Diesel III
Model Year	2008	2010	2007	2010
Length/width/height [m]	17,94/2,55/3	11,95/2,55/3	12/2,5/3,3	12/2,55/3,15
Engine displacement [c.c.]	11967	7200	11967	9300
Emission certification level	EURO IV	EURO V	EEV	EEV
Number of cylinders	6	6	6	5
Related power [kW]	220@2200 rpm	210@2200 rpm	180@2200 rpm	170@1900 rpm
Related torque [Nm]	1600@1100 rpm	1100@1100 rpm	880@1000 rpm	1050@1500 rpm
Oil sump volume [l]	31	29	33	31
Buses involved	9	10	19	10

ACEITES DE LA PRUEBA

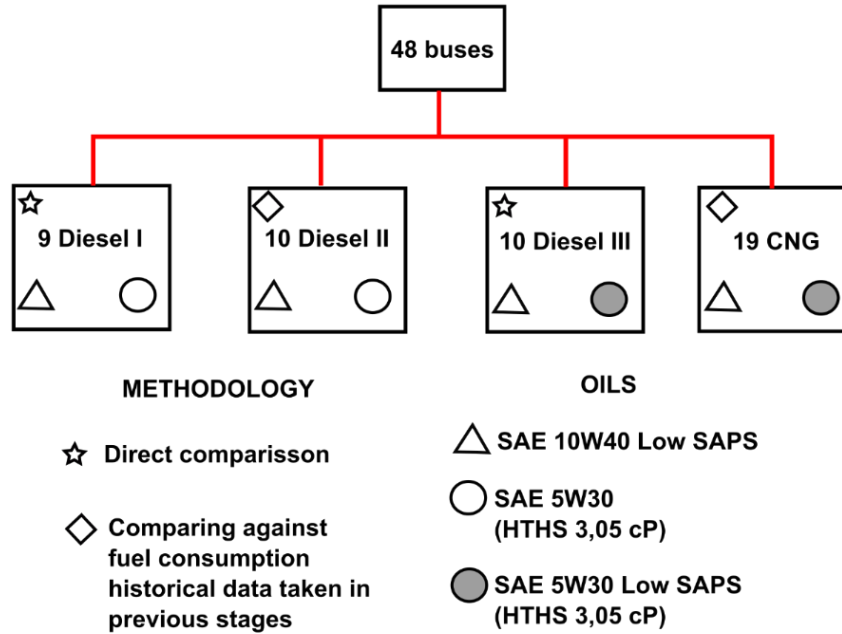
Oil	A	B	C
SAE Grade	10W40 Low SAPS	5W30	5W30 Low SAPS
Base	API G-III	API G-III + G-IV	API G-III + G-IV
kV@40°C [cSt]	96	54,65	53,76
kV@100°C [cSt]	14,4	9,81	9,41
HTHS@150°C [cP]	3,853	3,05	3,05
Viscosity Index [-]	>145	>158	<169
SAPS level [%]	0.9	1.8	0.9

- 
- Commercial oil
 - OEMs approved
 - Not Commercial oils
 - Not OEMs approved

DETALLES EXPERIMENTALES

Stage III

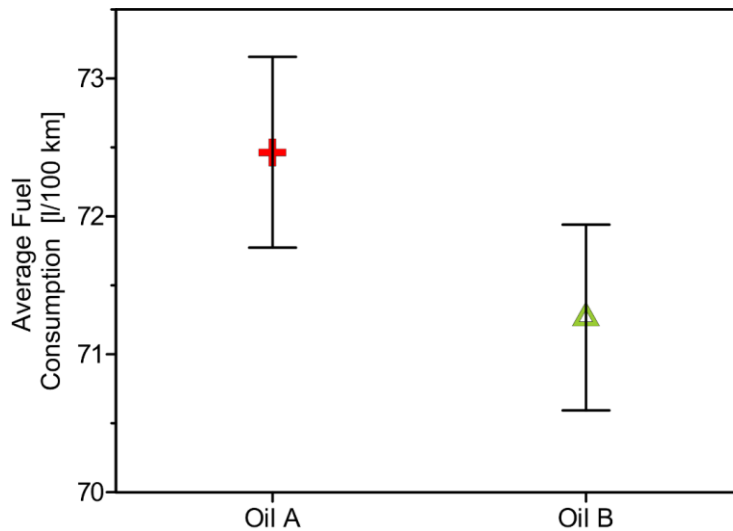
- Trying to avoid problems with statistical significance some buses have used just one engine oil.
- **SAE 10W40 Low SAPS** is the regular engine oil for entire fleet, and has been the reference baseline for those buses which a direct comparison has been applied.



RESULTADOS Y ANÁLISIS – CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Diesel I

Specific power = 2,85 [W/mm²]



- + Oil A 10W40 Low SAPS 3.85 cP
- △ Oil B 5W30 3.05 cP
- Oil C 5W30 Low SAPS 3.05 cP

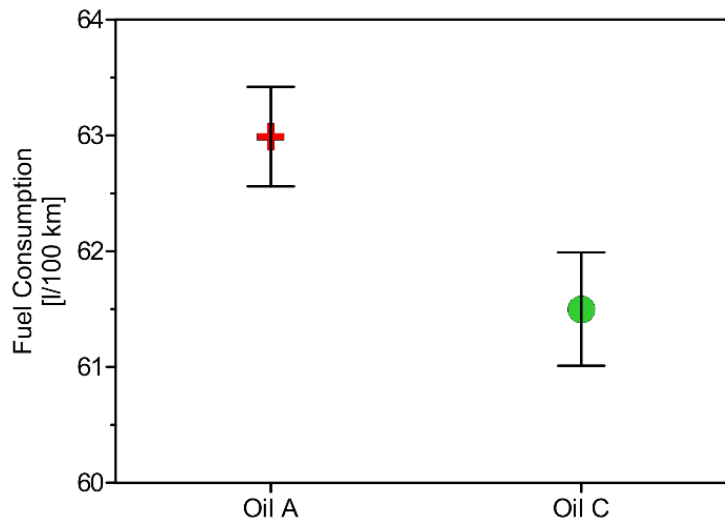
- Direct comparison
- Fuel consumption reduction with the candidate oil
- Fuel consumption reduction statistically significant

	Stage I / Stage II	Stage III
HTHS Ref. [cP]	4.05	3.85
HTHS Cand. [cP]	3.5	3.05
Reduction [%]	1.84	1.63

RESULTADOS Y ANÁLISIS – CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Diesel III

Specific power = 2,56 [W/mm²]



- + Oil A 10W40 Low SAPS 3.85 cP
- △ Oil B 5W30 3.05 cP
- Oil C 5W30 Low SAPS 3.05 cP

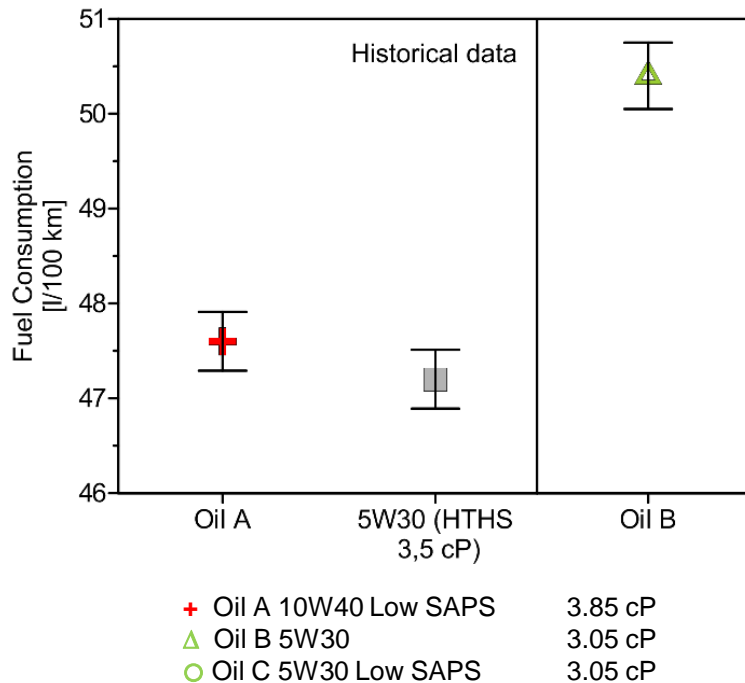
- Direct comparisson
- Sharp fuel consumption reduction using the candidate oil
- Fuel consumption reduction statistically significant

	Stage III
HTHS Ref. [cP]	3.85
HTHS Cand. [cP]	3.05
Reduction [%]	2.34

RESULTADOS Y ANÁLISIS – CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Diesel II

Specific power = 3,97 [W/mm²]



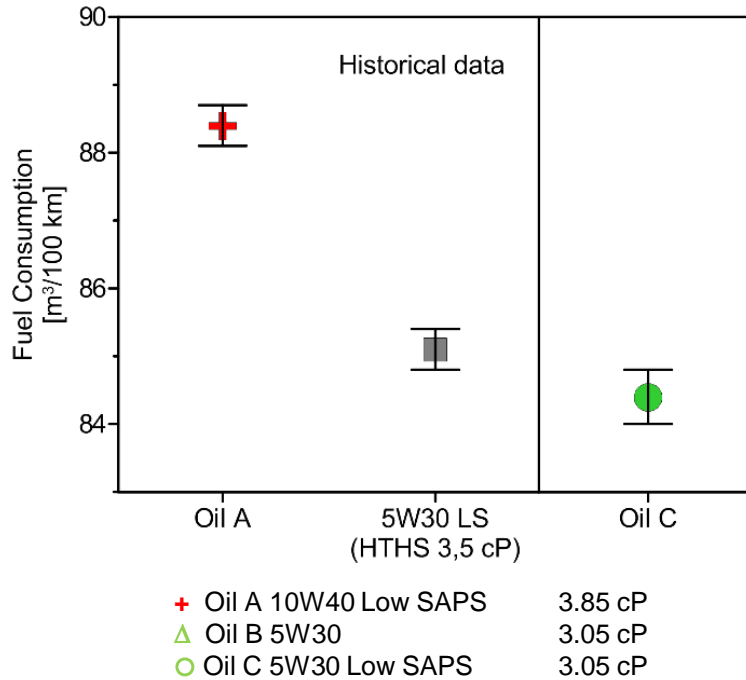
- Comparison against historical data
- Fuel consumption increase with the candidate oil.
- Previous results had anticipated mixed results of the use of low viscosity oils in this model.

	Stage I / Stage II	Stage III
HTHS Ref. [cP]	3,85	3.85/3.5
HTHS Cand. [cP]	3.5	3.05
Reduction [%]	0.98 (N.S.)	-4.99/-5.97

RESULTADOS Y ANÁLISIS – CONSUMO DE COMBUSTIBLE

CNG

Specific power = 2,33 [W/mm²]



- Comparison against historical data
- Fuel consumption decrease with the candidate oil
- Fuel consumption reduction statistically significant

	Stage I / Stage II	Stage III
HTHS Ref. [cP]	3.85	3.85/3.5
HTHS Cand. [cP]	3.5	3.05
Reduction [%]	3.7	4.5/0.7

RESULTADOS Y ANÁLISIS – EMISIONES DE CO2

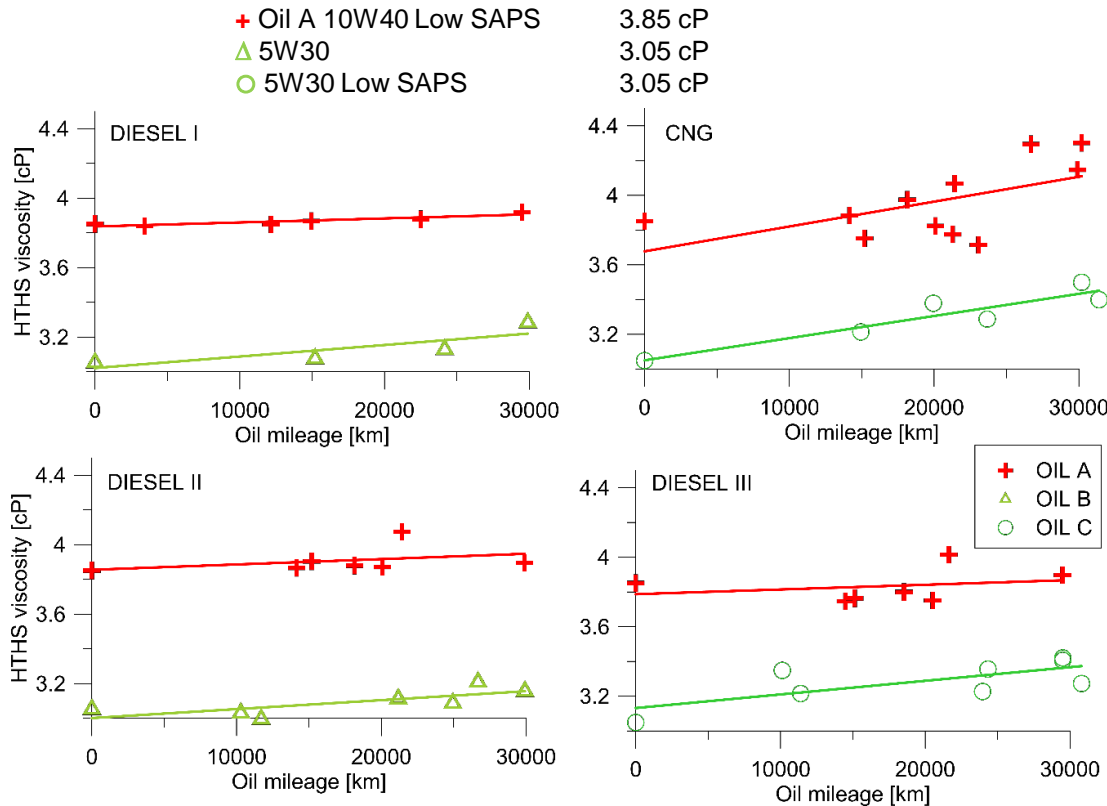
Bus model	F.C. differences [fuel/100 km]	CO ₂ emissions differences [g/km]	CO ₂ emissions reduction over the ODI per bus [Tons]
Diesel I	1.19	31.38	0.941
Diesel III	1.47	38.77	1.163
CNG	4.00	85.79	2.573

For the entire fleet of 480 buses (70 of them CNG) and the minor F.C. benefit for diesel

- 45000 km/(year-bus)
- >215000 l of diesel and >135000 Nm³ saved

RESULTADOS Y ANÁLISIS – COMPORTAMIENTO DEL ACEITE

Viscosidad HTHS

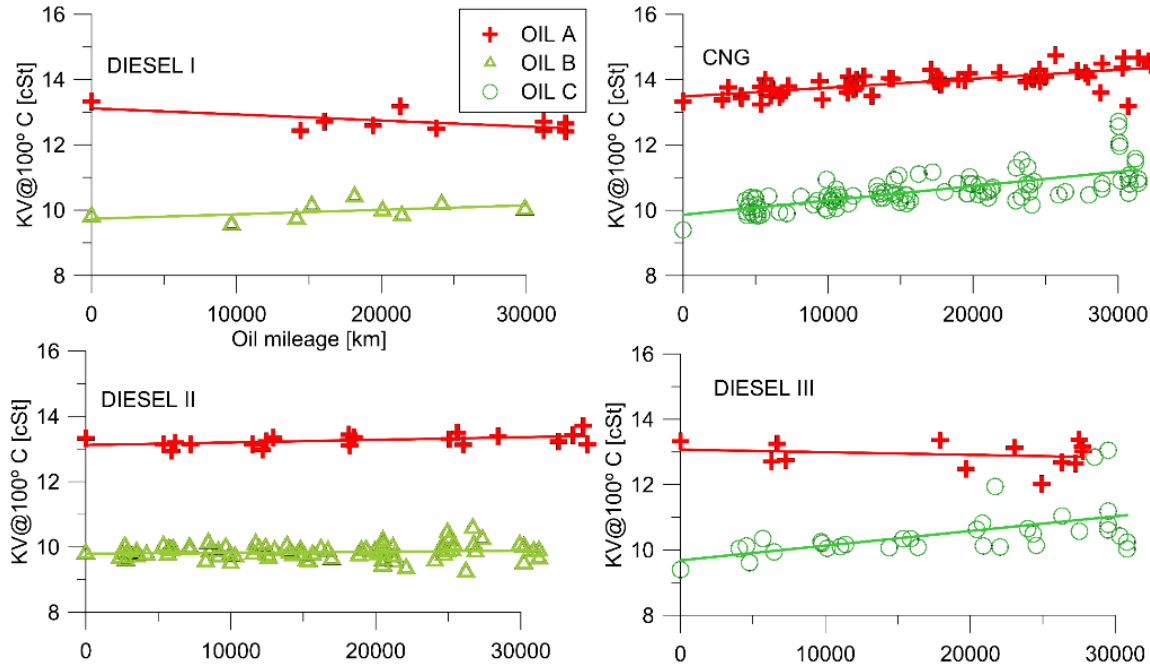


- **Diesel buses:** variation is almost negligible along the oil drain period.
- **CNG buses:** sustained increase given by oil oxidation.
- **Gaps between R and C oils** remain essentially steady during the ODI.

RESULTADOS Y ANÁLISIS – COMPORTAMIENTO DEL ACEITE

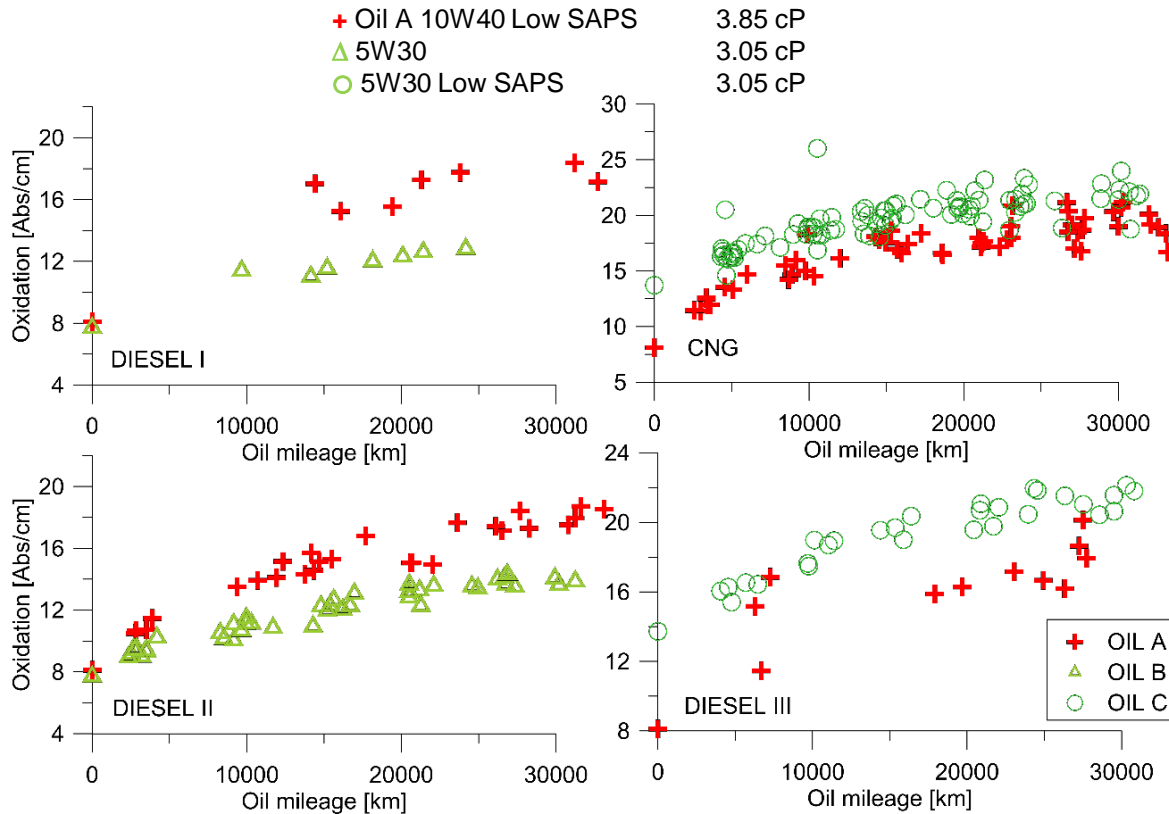
Viscosidad cinemática @100°C

- + Oil A 10W40 Low SAPS 3.85 cP
- △ 5W30 3.05 cP
- 5W30 Low SAPS 3.05 cP



RESULTADOS Y ANÁLISIS – COMPORTAMIENTO DEL ACEITE

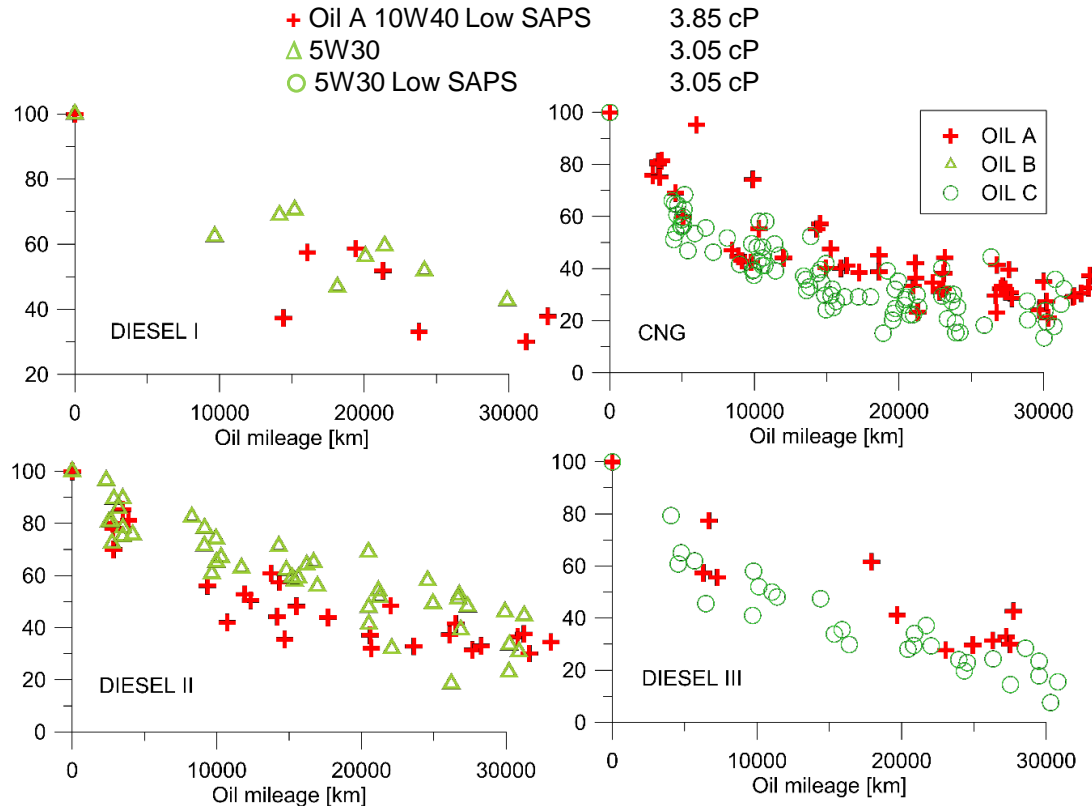
Oxidación (FT-IR)



- **Low SAPS engine oils shown a higher oxidation (Diesel I and Diesel II).**
- **CNG engine oils reached higher levels of oxidation compared to Diesel buses → Thermal stress.**

RESULTADOS Y ANÁLISIS – COMPORTAMIENTO DEL ACEITE

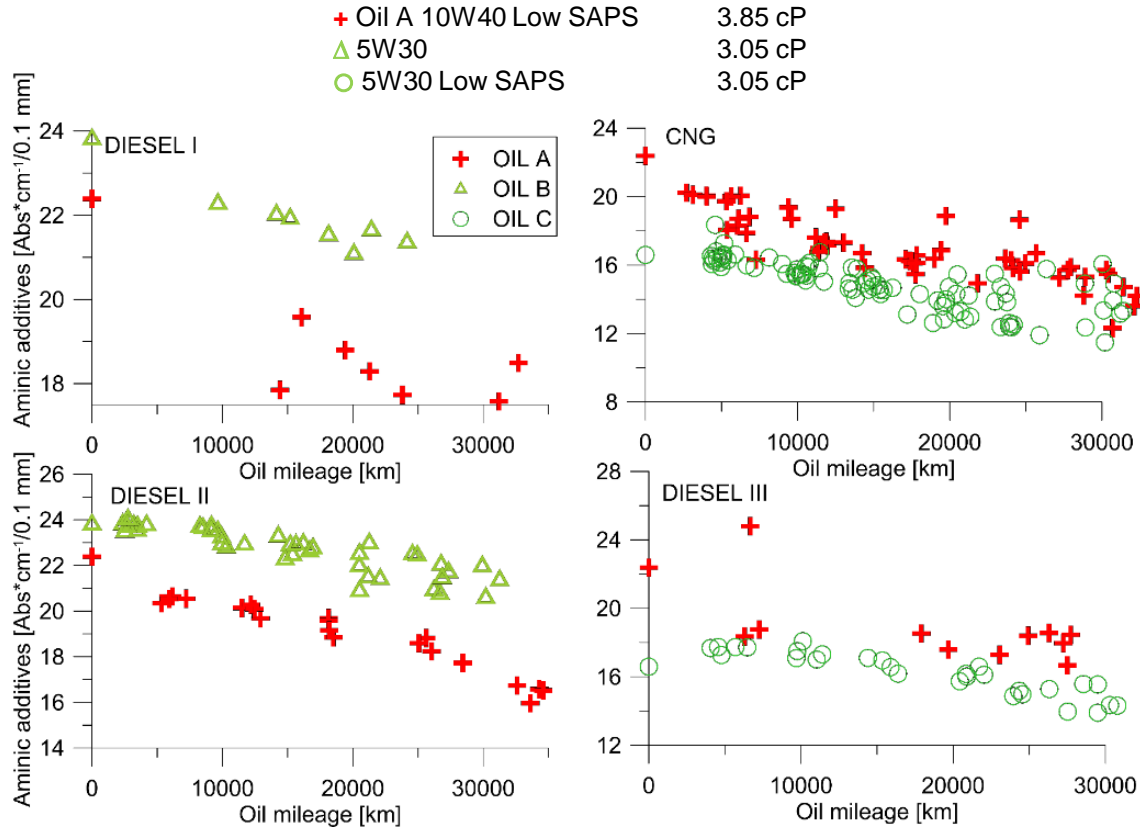
Remaining Useful Life (RUL) Number



- Slightly decrease in RUL number alongside the ODI.
- No significant difference in terms of antioxidant additives depletion between C and R oils.
- Candidate oils at their limit (remaining additive content after 30000 km).

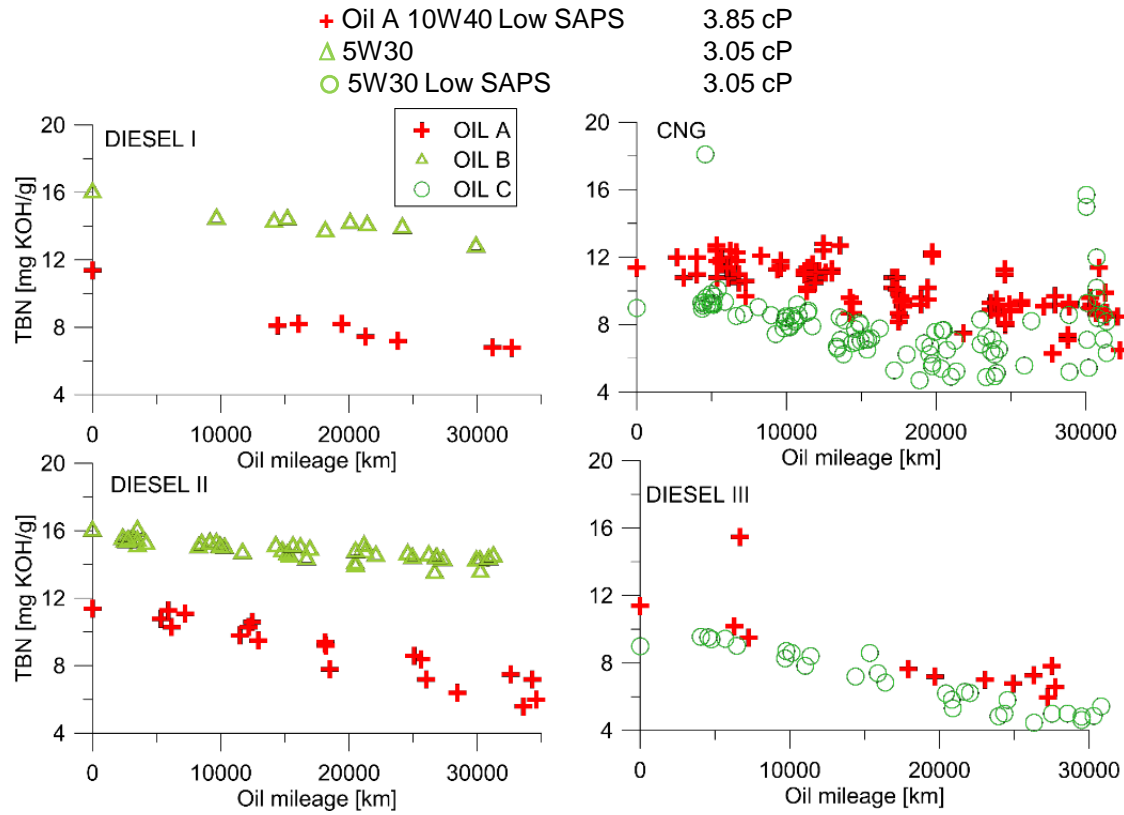
RESULTADOS Y ANÁLISIS – COMPORTAMIENTO DEL ACEITE

Aditivos de tipo amínico (FT-IR)



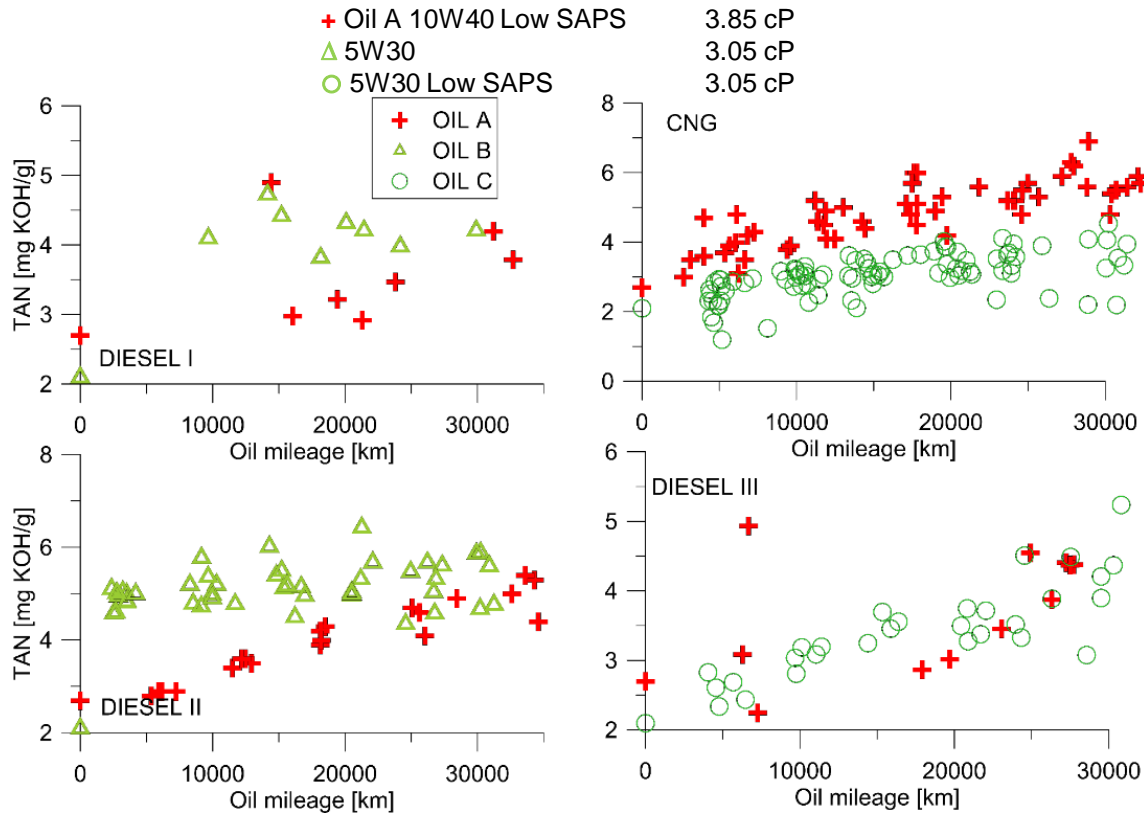
RESULTADOS Y ANÁLISIS – COMPORTAMIENTO DEL ACEITE

Total Base Number (TBN)



RESULTADOS Y ANÁLISIS – COMPORTAMIENTO DEL ACEITE

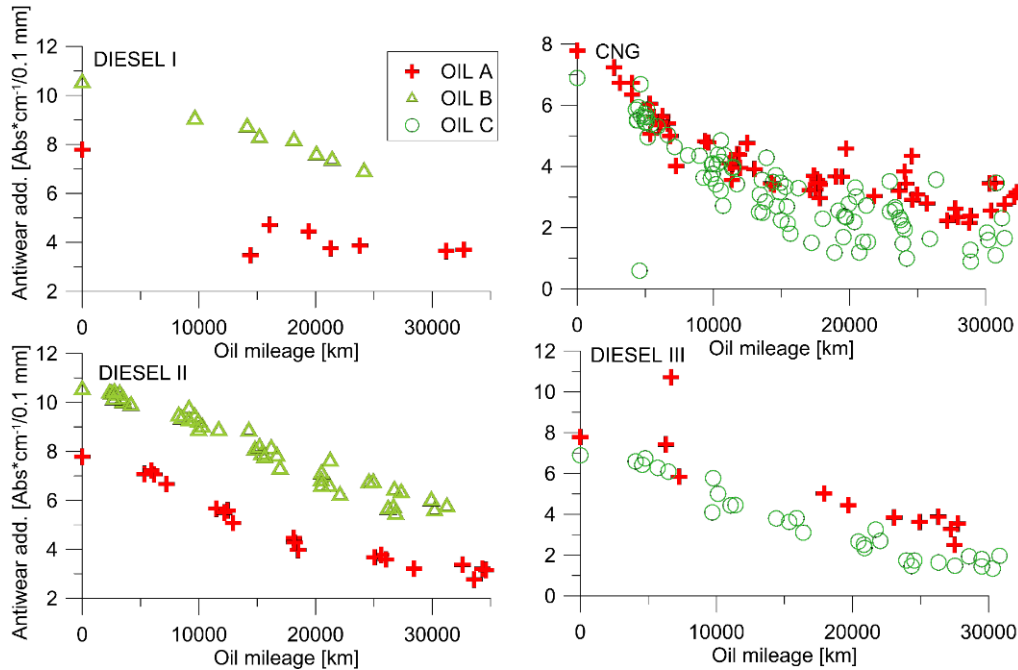
Total Acid Number (TAN).



RESULTADOS Y ANÁLISIS – COMPORTAMIENTO DEL ACEITE

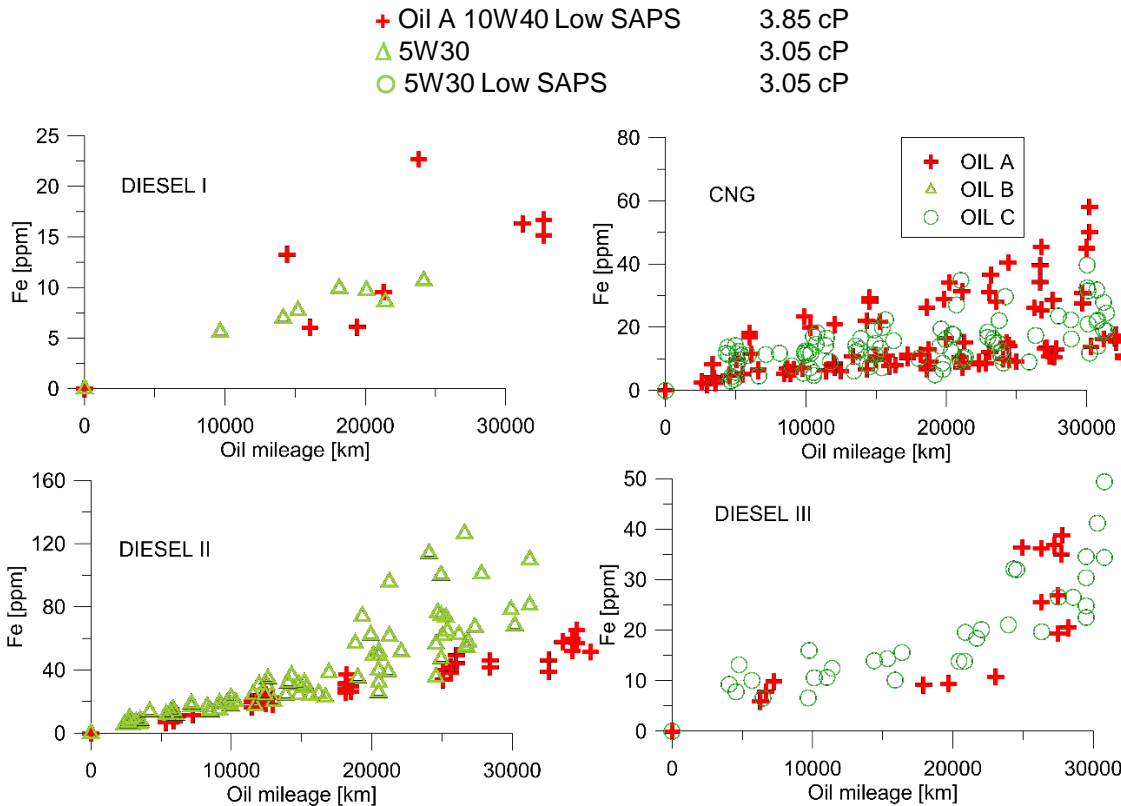
Aditivos anti-desgaste (FT-IR)

- + Oil A 10W40 Low SAPS 3.85 cP
- △ 5W30 3.05 cP
- 5W30 Low SAPS 3.05 cP



RESULTADOS Y ANÁLISIS – COMPORTAMIENTO DEL ACEITE

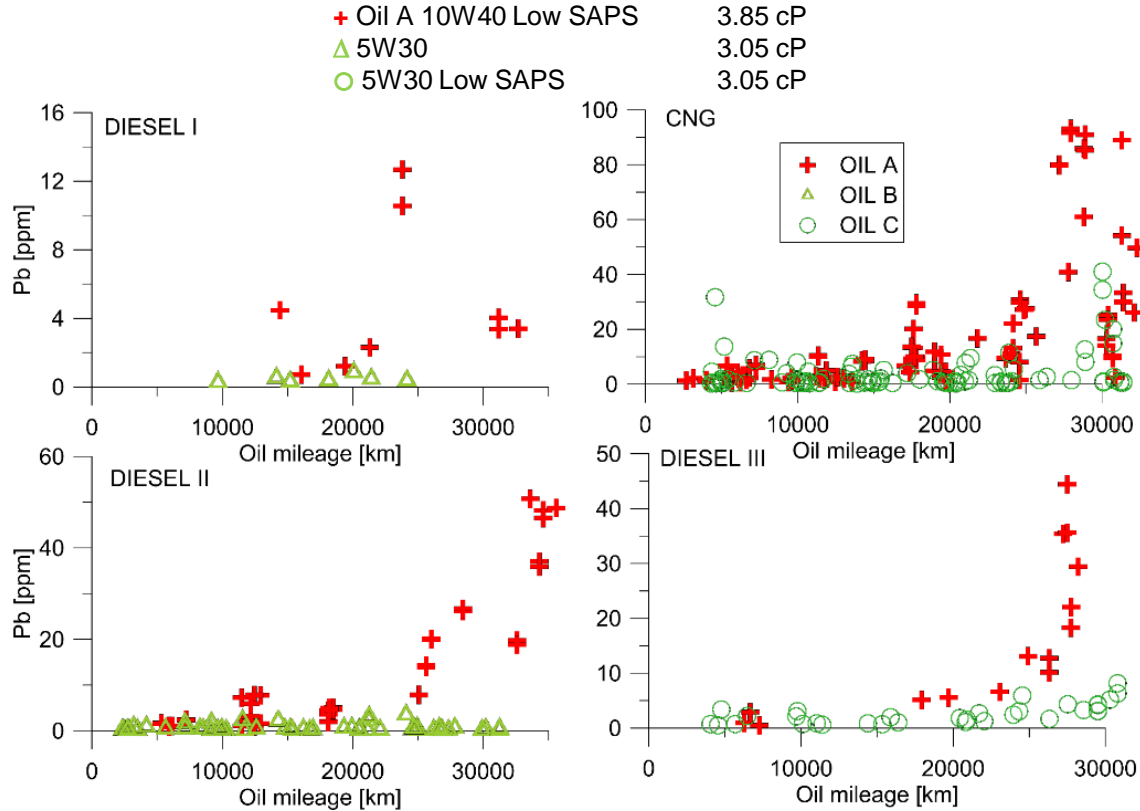
Desgaste – contenido en Fe (ppm)



- Diesel I, Diesel III and CNG buses did not show significant differences in Fe content (wear)
- Fe presence was higher in the candidate oil when used in Diesel II buses
- $\uparrow \text{bmep} + \downarrow \text{viscosity} = \uparrow \text{Fe content}$.

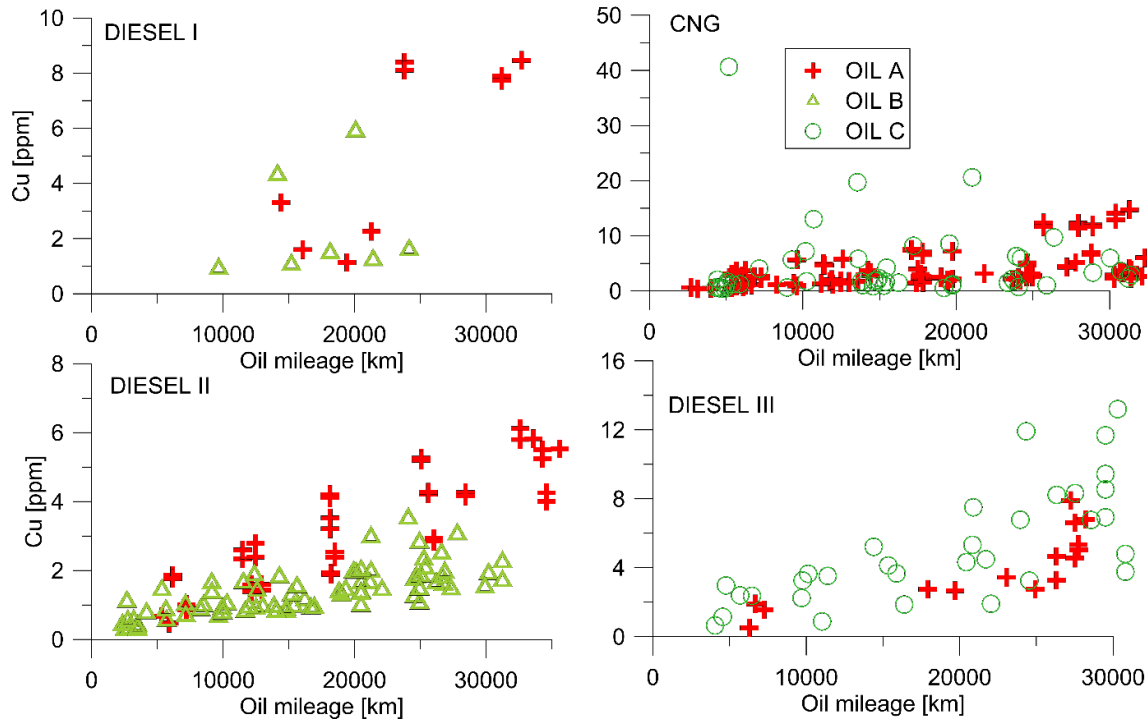
RESULTADOS Y ANÁLISIS – COMPORTAMIENTO DEL ACEITE

Desgaste – contenido en Pb (ppm)



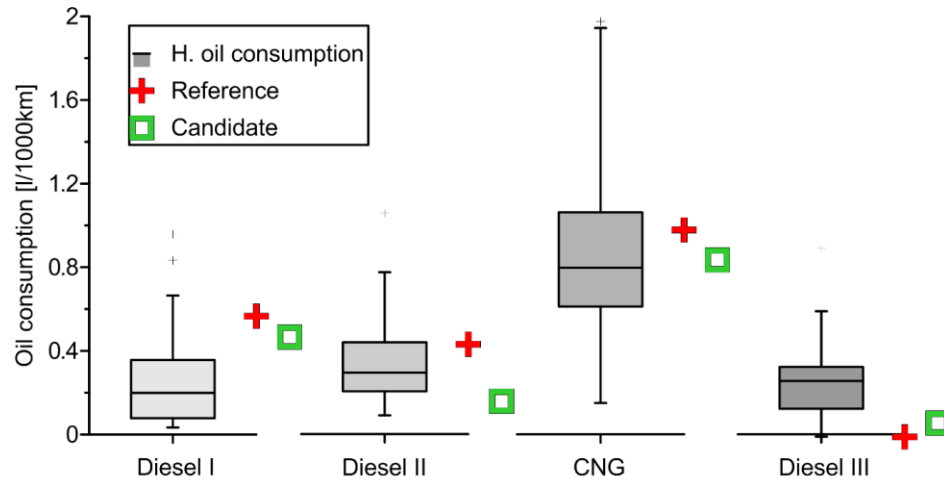
RESULTADOS Y ANÁLISIS – COMPORTAMIENTO DEL ACEITE

Desgaste – contenido en Cu (ppm)



RESULTADOS Y ANÁLISIS – COMPORTAMIENTO DEL ACEITE

Consumo de lubricante



- **No significant variation in oil consumption.**
- **Slightly increase in oil consumption for Diesel I buses (oldest model)**

RESULTADOS Y ANÁLISIS – COMPORTAMIENTO DEL ACEITE

Comportamiento del aceite

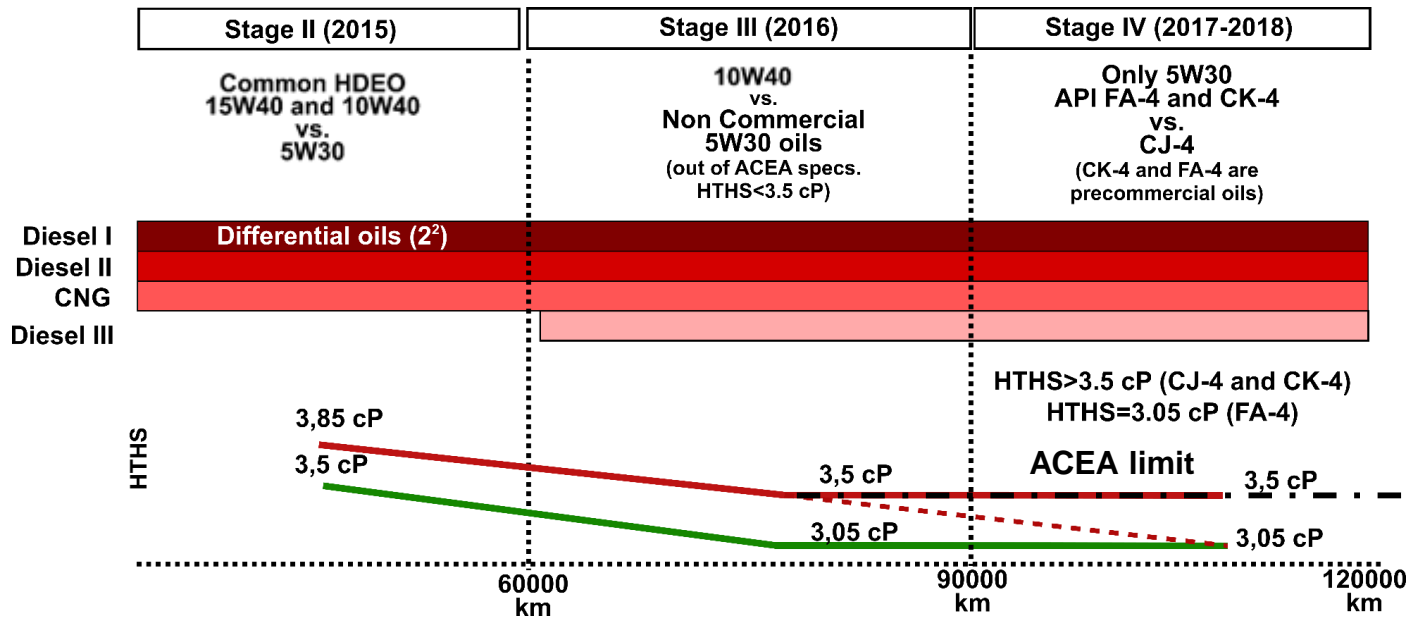
- Desde el punto de vista del usuario final, la conclusión más importante es que ambos tipos de aceites de baja viscosidad han alcanzado el periodo de cambio o drenaje esperado tal como el aceite de referencia 10W40.
- Es destacable también, que no debe esperarse ninguna mejora desde el punto de vista de periodo de cambio, atendiendo a los resultados obtenidos.
- Las variaciones de viscosidad HTHS durante el periodo de uso han sido reducidas y en todo caso la diferencia existente entre los aceites se mantiene durante el periodo de uso.
- Las mayores exigencias térmicas se traducen directamente en ratios de oxidación mayores. Los aceites Low-SAPS han mostrado mayores ratios de oxidación.
- El comportamiento de la medida del RUL (o el agotamiento de los aditivos) está muy relacionado con lo comentado anteriormente y muestra claramente que el periodo no conviene que sea aumentado sin posibles penalizaciones desde el punto de vista de la fiabilidad de uso.

RESULTADOS Y ANÁLISIS – COMPORTAMIENTO DEL ACEITE

Desgaste del motor

- Los aceites en uso en los motores del tipo Diésel I no mostraron diferencias sustanciales, ambos aceites pueden cumplir con las exigencias derivadas de los requerimientos mecánicos y térmicos de este tipo de motor.
- El aceite candidato en el motor de tipo Diésel II ha mostrado diferencias sustanciales, especialmente en el contenido de hierro (Fe), con mayores valores absolutos así como ratios de generación. Sus mayores exigencias mecánicas y su propio diseño pueden ser el origen de esta diferencia.
- Los motores del tipo Diesel III y de GNC no han presentado un contenido anormal en hierro como consecuencia de su baja exigencia mecánica.
- El aceite 10W40 Low-SAPS ha mostrado altos valores de desgaste de plomo (Pb) posiblemente como consecuencia de una deficiente protección frente al desgaste corrosivo.

TRABAJOS FUTUROS



Aceites lubricantes de motor de baja viscosidad: ahorro de combustible y comportamiento. ¿Qué puede esperarse en su uso real?

Dr. Bernardo Tormos

Santa Fe – Argentina

31 Agosto 2018

Muchas gracias por su atención

www.cmt.upv.es