



**XX CONGRESO IBEROAMERICANO
DE MANTENIMIENTO 2019**
**VIII CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA
DE MANTENIMIENTO 2019**



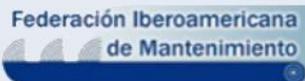
MAHLE



Tópicos sobre Tribología y sus Aplicaciones en la Industria

PhD. Alexander Zuleta Durango

Experimental Engineer at Brazil MAHLE Tech Center



Agenda

+ Introducción

- MAHLE
- Consideraciones iniciales
- Tribología

+ Fricción

+ Desgaste

+ Lubricación

+ Aplicaciones de la Tribología en la Industria

- Brazil MAHLE Tech Center
- Laboratório de Fenômenos de Superfície - Universidade de São Paulo



MAHLE



Introducción



- + **MAHLE GmbH** es una empresa Alemana de componentes autopartes;
- + Fundada en 1920 por los hermanos Mahle;
- + En Brasil desde la década de 1950;
- + Una amplia variedad de productos y soluciones integradas;
- + Dedicada a la fabricación y comercialización de componentes de motores de combustión interna;
- + Productos con la última tecnología y la más alta calidad;

Introducción



- ✚ Varios Centros Tecnológicos en todo el mundo;
- ✚ Invirtiendo continuamente en investigación y desarrollo de nuevos productos y procesos de producción;
- ✚ Investigando y desarrollando tecnologías para componentes como pistones, bielas, camisas, anillos, casquetes, tren de válvulas, filtros, radiadores, condensadores, compresores y aire acondicionado;
- ✚ En el estado de São Paulo, MAHLE tiene 5 plantas y 1 en el estado de Minas Gerais, además de una unidad en Argentina;

Introducción

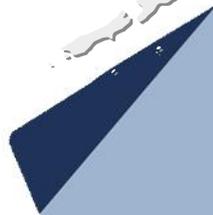
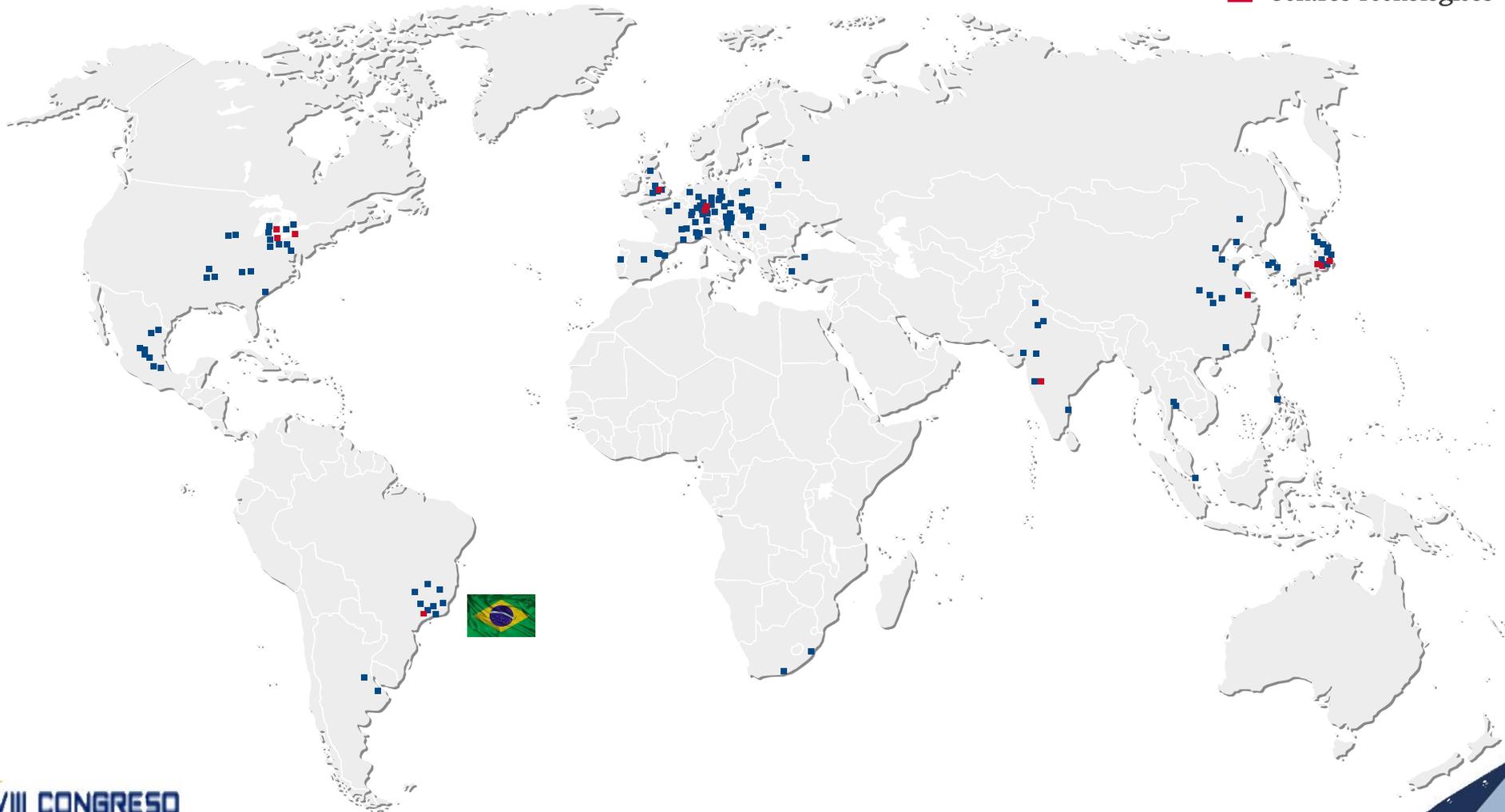


- ✚ En 2008, MAHLE inauguró un nuevo Centro Tecnológico en Brasil;
- ✚ Considerado el Centro Tecnológico más moderno de América Latina;
- ✚ El nuevo Centro Tecnológico tiene laboratorios de soporte de I + D, así como varios bancos de prueba para motores ciclo Otto, Diesel y NVH;
- ✚ MAHLE actualmente está entre las 10 empresas más grandes del mundo en el área, contando en 2016 con un total de 77,000 empleados en más de 170 plantas industriales.



Introducción

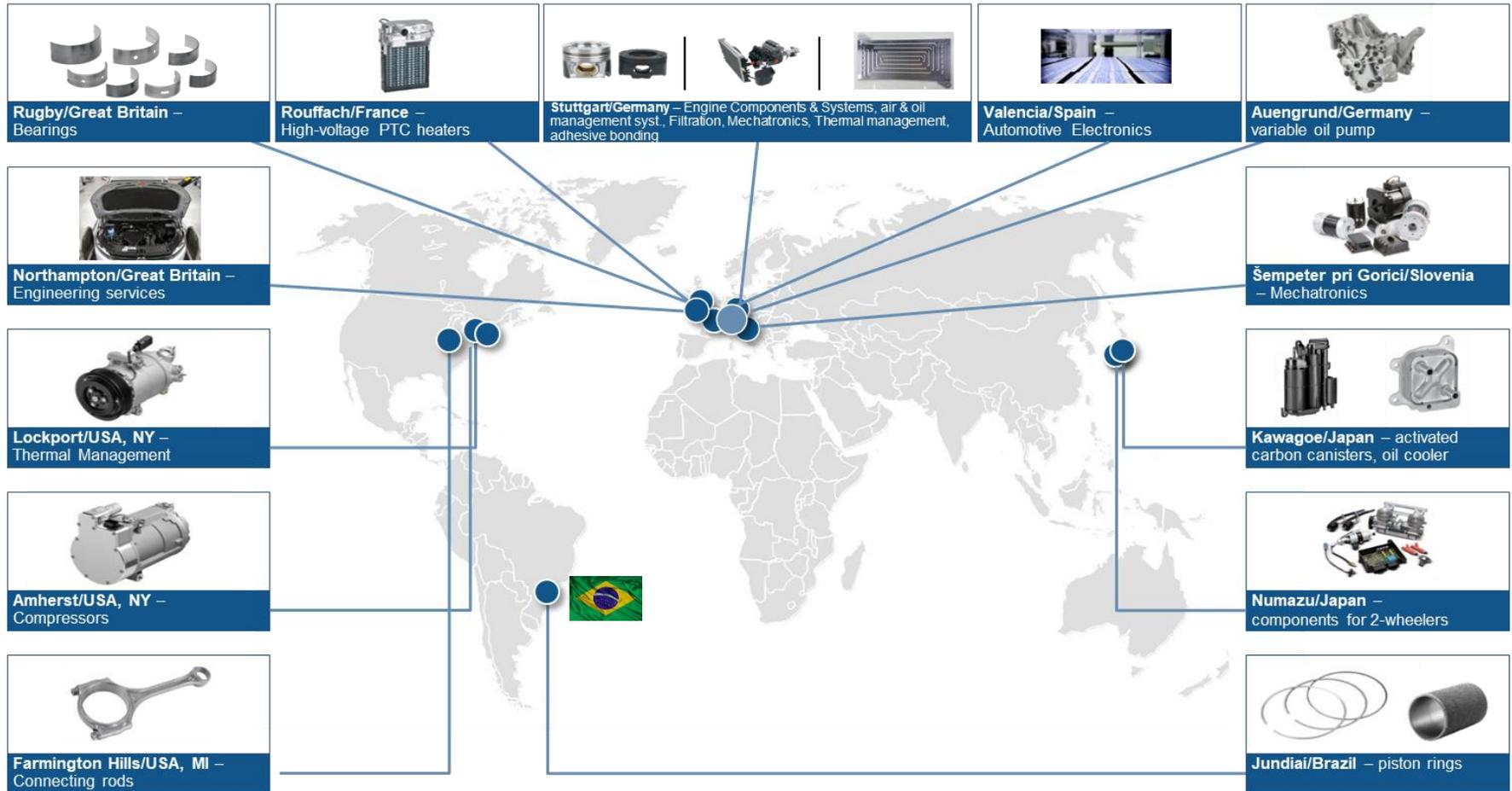
- Plantas de Producción
- Centros Tecnológicos



Introducción



Introducción



Introducción

MAHLE



MAHLE

Powertrain



Introducción

✚ Uno de los mayores problemas en el sector industrial y que genera enormes pérdidas económicas, está relacionado con daños provocados por diferentes fenómenos, denominados ***Tribológicos***:

- Fricción
- Desgaste
- Lubricación
- Fatiga
- Corrosión



Introducción

- ✚ Todo componente mecánico se degrada durante su vida útil;
- ✚ Conociendo y entendiendo la naturaleza de lo que sucede entre las superficies;
- ✚ Emprender acciones de tipo correctivo, buscando aumentar el tiempo de uso de partes y equipos industriales;
- ✚ Daños ocasionados por fenómenos tribológicos en equipos industriales, llevan continuamente al recambio de partes de la maquinaria;
- ✚ Provocando tiempos de parada de la producción generalmente grandes;
- ✚ Tribología, permite prever fallas futuras, conservando la productividad, la seguridad industrial y la reducción de costos con problemas.

Introducción

- ✚ “**Estudio Jost**” aplicado en Inglaterra mostró la grandiosidad de las pérdidas por fricción y desgaste en las industrias de ese país;
- ✚ Varios países realizaron sus respectivos estudios y concluyeron que en función de las pérdidas por fenómenos tribológicos los valores alcanzaban niveles del PIB como:



● Alemania ~ 0,5%



● Japón ~ 2,6%



● China ~ 2,0 – 7,0%

● Estados Unidos ~ 0,79 – 0,84%



● Colombia ~ 20%



Introducción

- ✦ **23%** del consumo global de energía tiene origen en contactos tribológicos;
 - ✦ **20%** es utilizado para superar la acción de la fricción.
 - ✦ **3%** es utilizado en la fabricación de componentes nuevos para substituir los desgastados.
- ✦ Aprovechando el desarrollo en áreas de nuevos materiales, nuevas superficies y lubricación es posible reducir en **40%** esa pérdida de energía en **12 años** y **18%** en **8 años**;
- ✦ La mayor parte de esa reducción sería en el sector de transporte (**25%**) y generación de energía (**20%**);
- ✦ La economía en los sectores residenciales y de manufactura sería en torno del **10%**;
- ✦ Con la implementación de estas tecnologías podría obtenerse una reducción de 1460 MtCO₂ y una economía de 450000 millones de Euros en apenas 8 años;
- ✦ En 12 años serían 3140 MtCO₂ y 970000 millones de Euros.

Introducción

- ✚ En los últimos años hubo un gran desarrollo en las áreas relacionadas a la Tribología, nuevos materiales, tecnologías de superficies, lubricantes y otras soluciones técnicas;
- ✚ Debido al crecimiento de la población mundial, a la alta demanda por energía, limitación de combustibles fósiles y los impactos ambientales es que la Tribología actualmente tiene muchos desafíos;



- Nuevos Materiales - Recubrimientos
- Ingeniería de Superficies (Tratamientos, Texturización)
- Nuevos componentes
- Nanotecnología, bio-mimética y design computacional de materiales
- Green Tribology

Introducción

Tribología $\tau\rho\iota\beta\omicron\sigma = \text{Rozamiento}$

“Ciencia que estudia la interacción entre superficies en movimiento”

Involucra el estudio de :

Fricción

Desgaste

Lubricación



Generación de fuego
mediante fricción

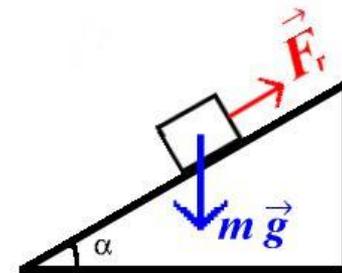
Prehistoria

Invento de la
rueda

5000 a.C.

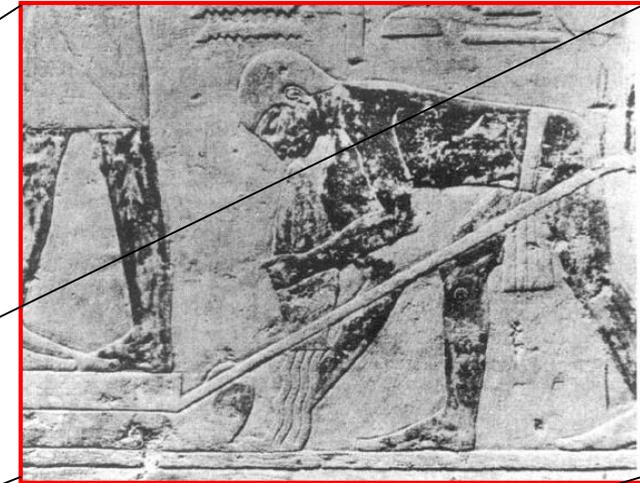
Galileo con estudios sobre
el plano inclinado

1564 - 1642



Introducción

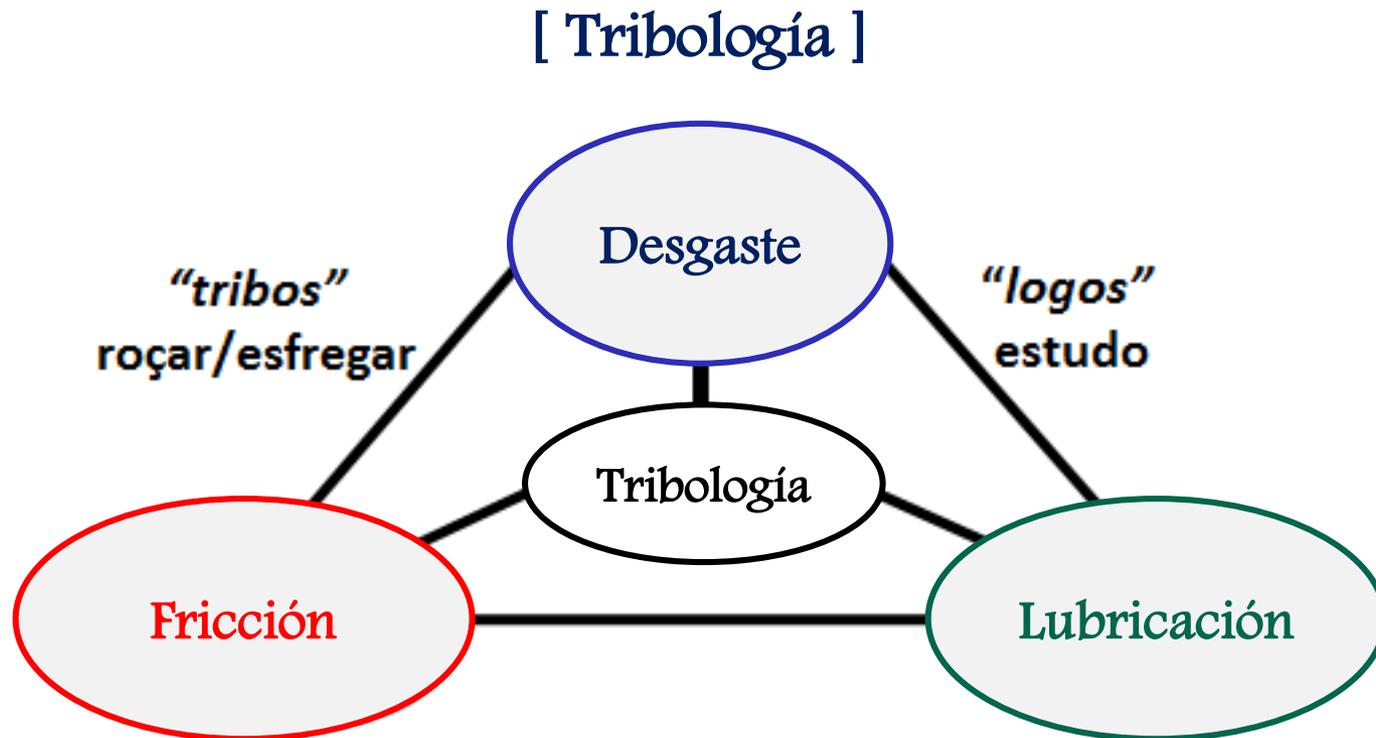
Primeros Registros del Trabajo de los Ingenieros de la Antigüedad



Antiguo Egipto, Asiria
2000 A.C.

Lubricación con Agua para Transporte de Grandes Monumentos

Introducción



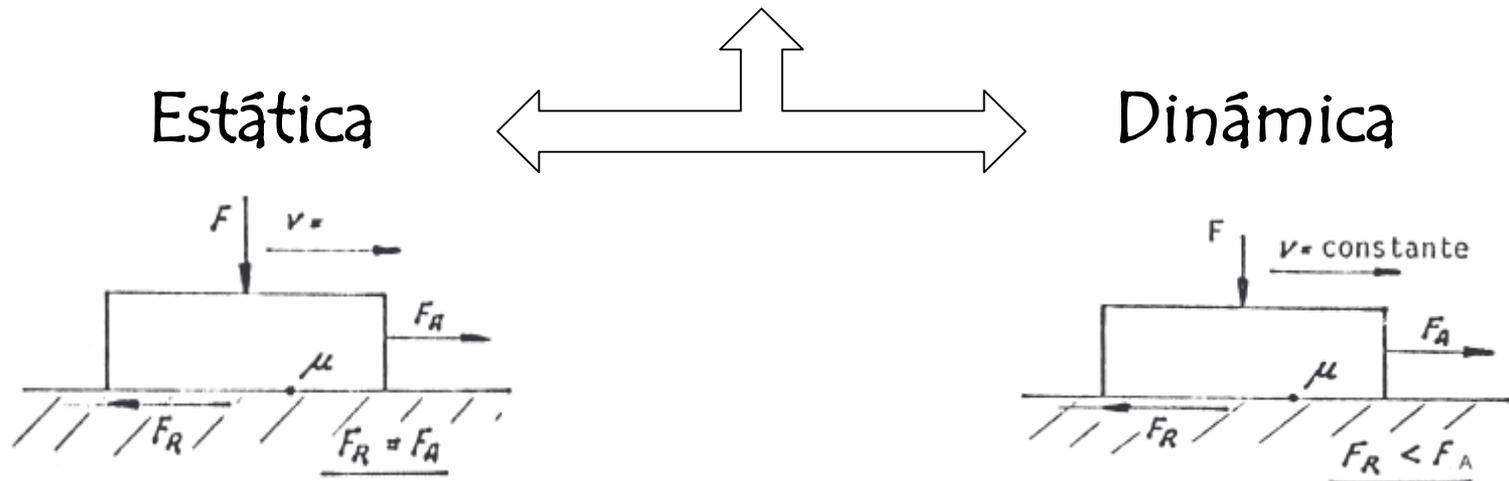
“...The science and technology of interacting surfaces in relative motion and the practices related thereto”

[Jost, 1966]

Fricción

Fricción

Resistencia al movimiento durante el deslizamiento o rodamiento que experimenta un cuerpo sólido al moverse tangencialmente sobre otro con el cual está en contacto.



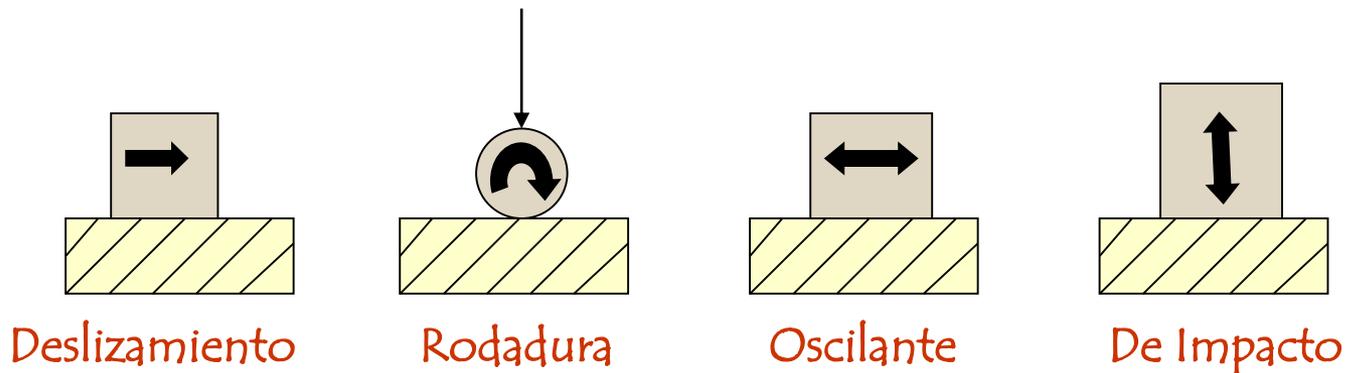
Rozamiento de
Reposo

Rozamiento de
Movimiento

Desgaste

Desgaste

Se manifiesta como el deterioro progresivo de la superficie por remoción de material de una o ambas superficies sólidas en movimiento relativo ya sea por deslizamiento, rodamiento o impacto.



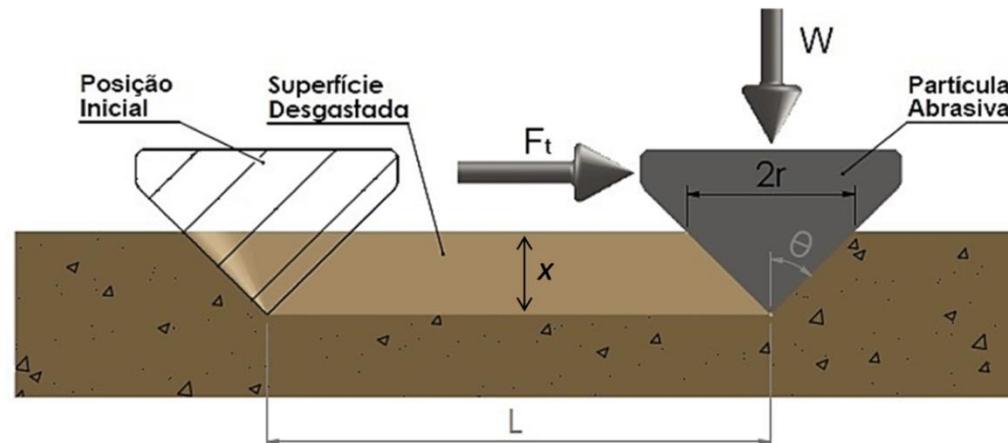
Desgaste

Desgaste Abrasivo – ASTM G40

“Desgaste debido a partículas o protuberancias duras forzadas y moviéndose a lo largo de una superficie sólida”

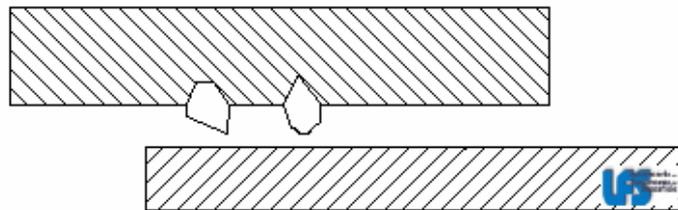
Desgaste Abrasivo – Zum Gahr

“Desgaste en el cual una aspereza dura, moviéndose sobre una superficie con menor dureza, mediante el efecto de una carga, penetra y remueve material de la superficie dejando un surco”

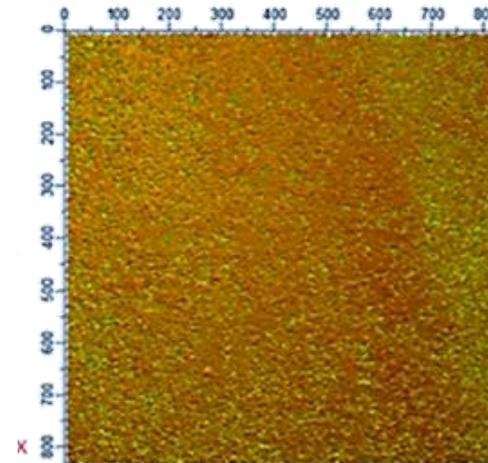
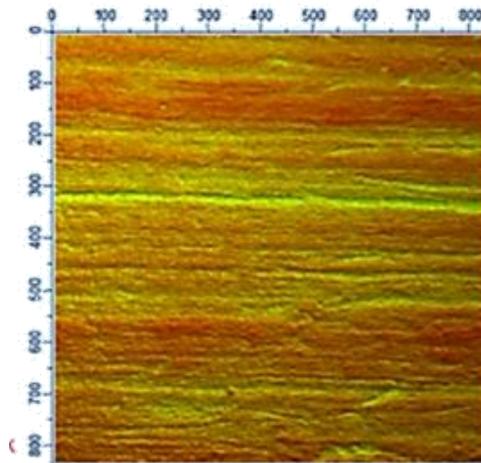
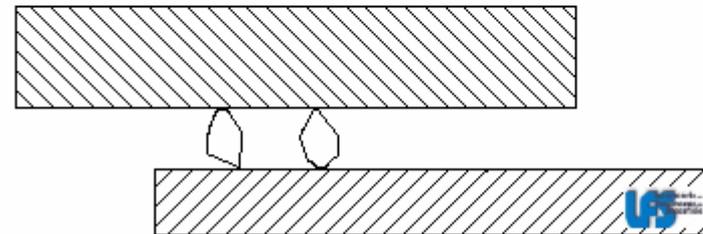


Desgaste

Abrasión a 2 cuerpos

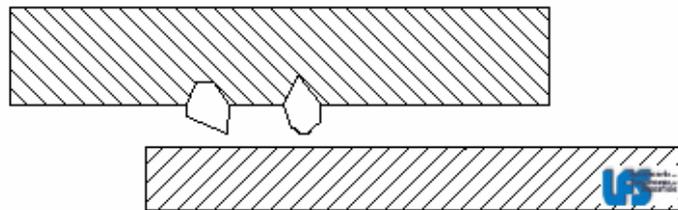


Abrasión a 3 cuerpos

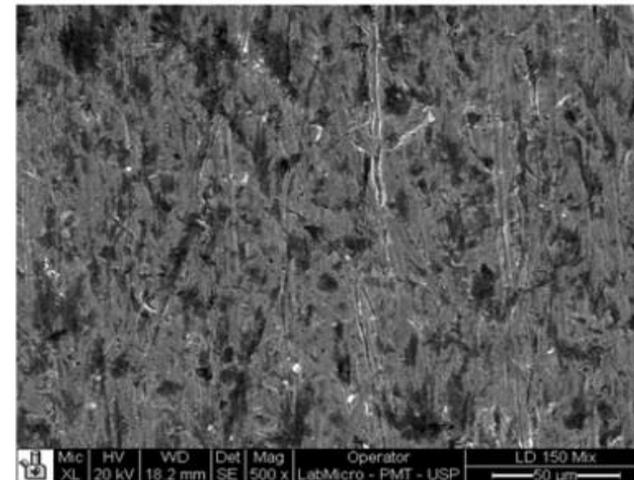
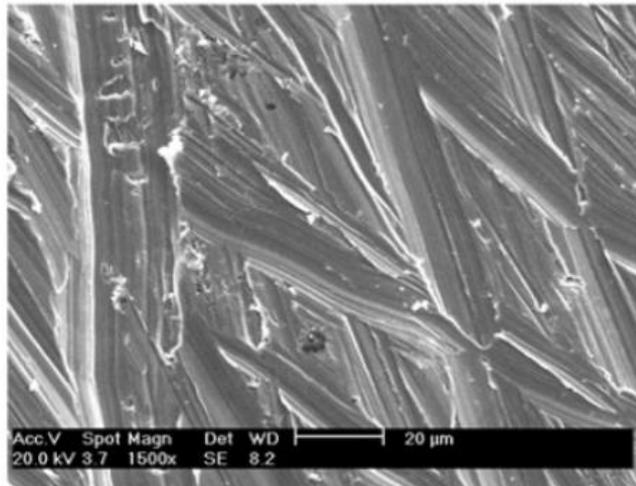
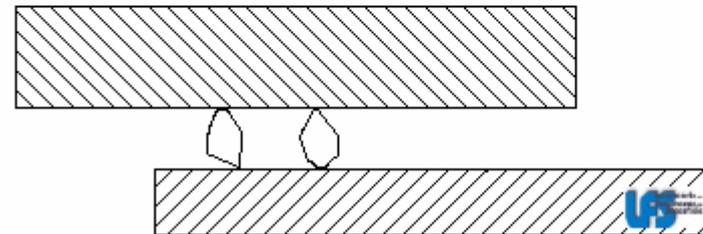


Desgaste

Abrasión a 2 cuerpos

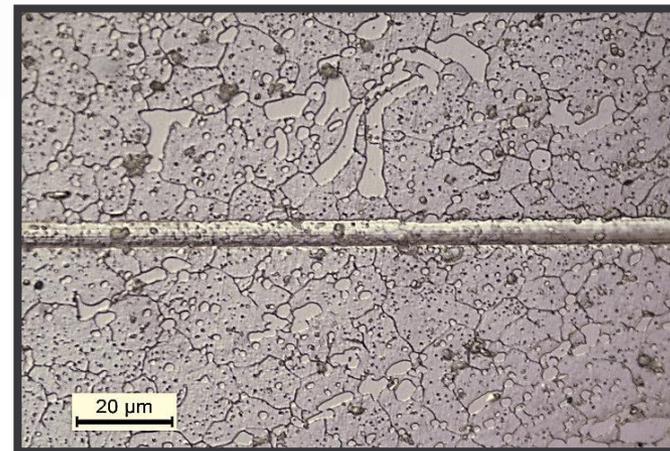
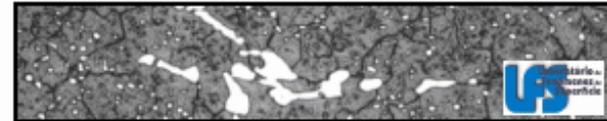
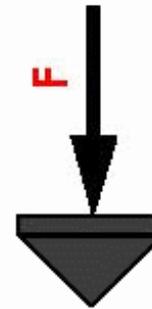
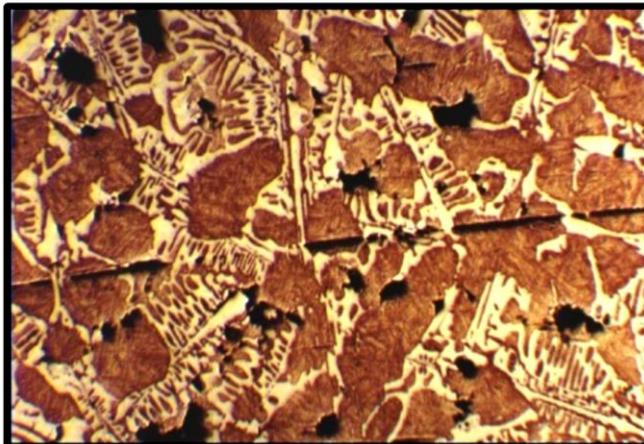
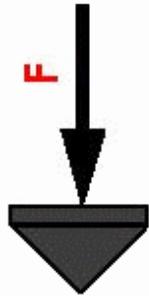


Abrasión a 3 cuerpos



Desgaste

Abrasión en Materiales



Lubricación

Lubricación

Consiste en la introducción de una capa intermedia de un material ajeno entre las superficies en movimiento, cuya función es disminuir la fricción y el desgaste.

Líquido



Sólido

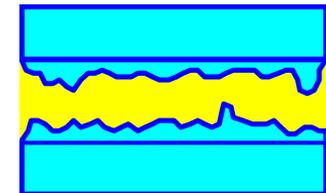
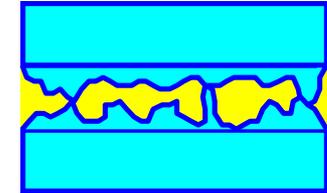
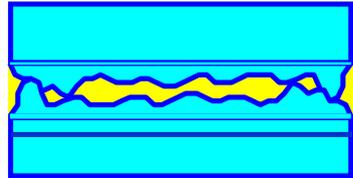


Gaseoso



Lubricación

Curva de Stribeck



Aplicaciones

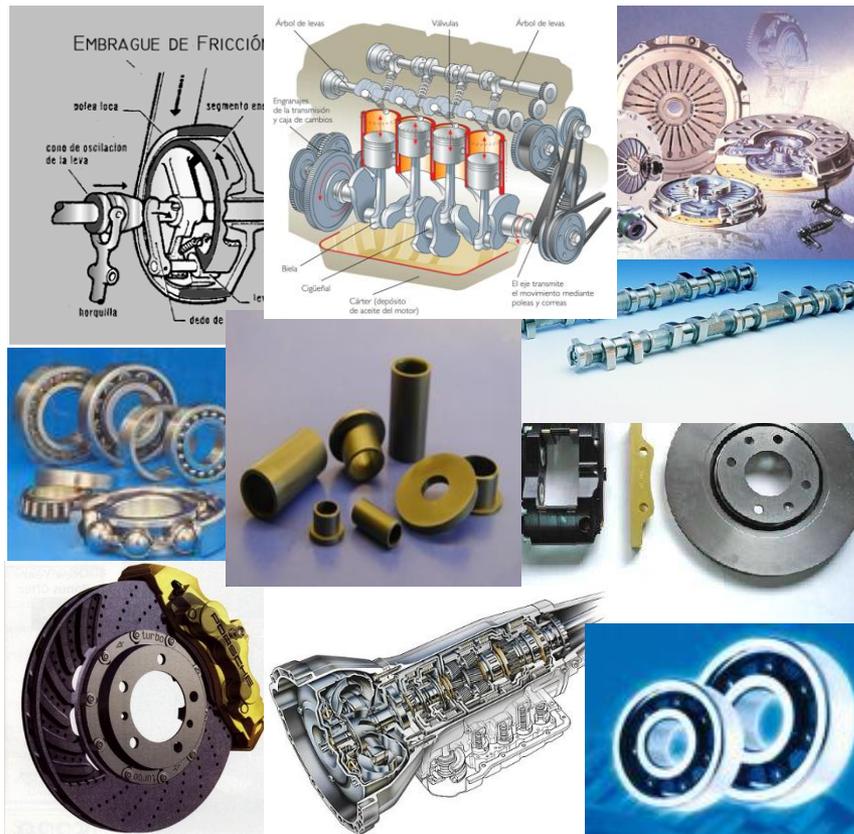
Alcances de la Tribología

- Ahorro de materias primas
- Aumento en la vida útil de las herramientas y la maquinaria
- Ahorro de recursos naturales
- Ahorro de energía
- Protección al medio ambiente
- Ahorro económico



Aplicaciones

La *Tribología* es aplicable en muchos elementos mecánicos de la industria donde se manifiesta de manera directa o indirecta.

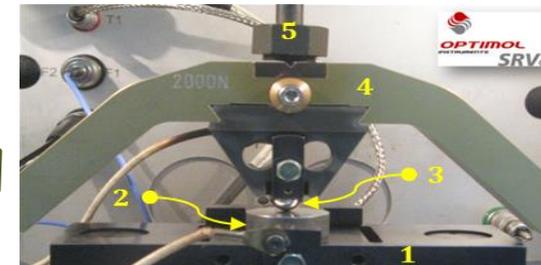
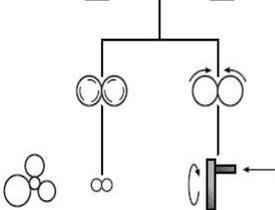
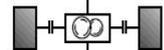
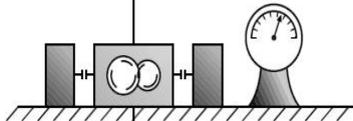
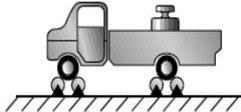


- ✦ Rodamientos
- ✦ Cojinetes
- ✦ Transmisiones
- ✦ Ejes
- ✦ Motores de combustión
- ✦ Frenos
- ✦ Embragues

Metodologia

[Zuleta, 2016]

Category (level of abstraction)	
I	Application oriented test, practice oriented test (simplified, accelerated or simulated)
II	
III	
IV	Tribometers and laboratory testers with idealized test geometries
V	
VI	



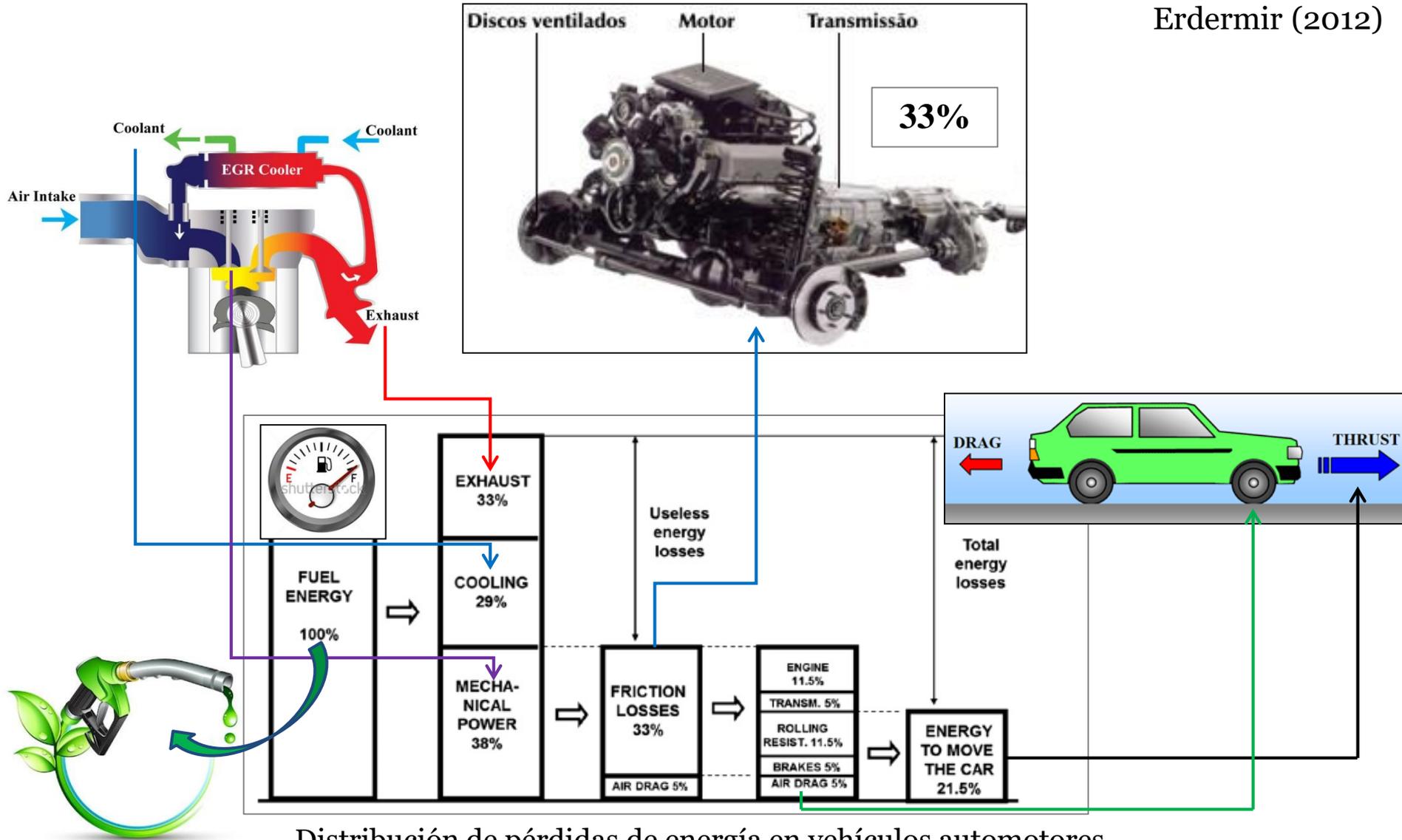
[Czichos, 1991]



Aplicaciones en la Industria Automotriz

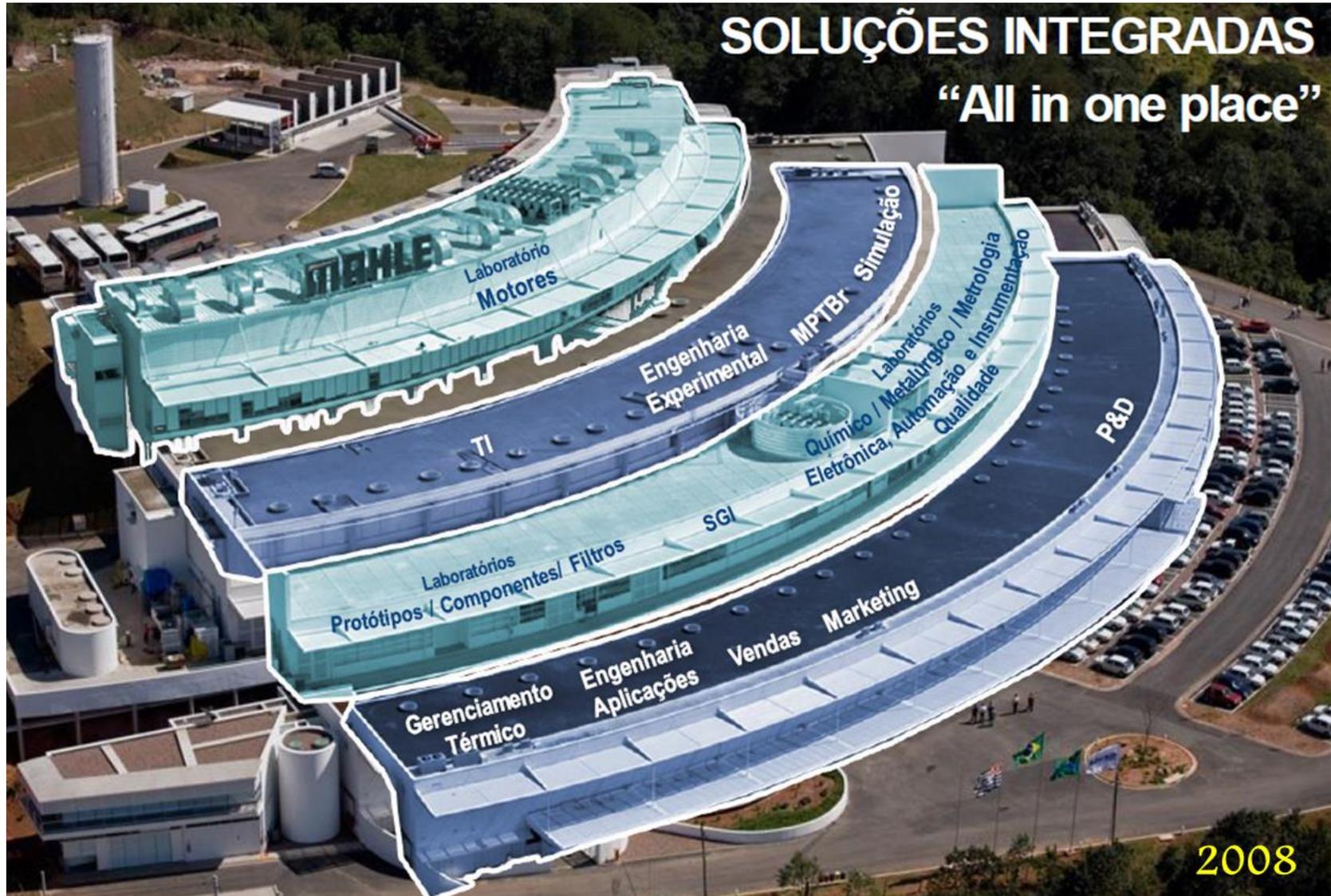
Aplicaciones

Erdermir (2012)



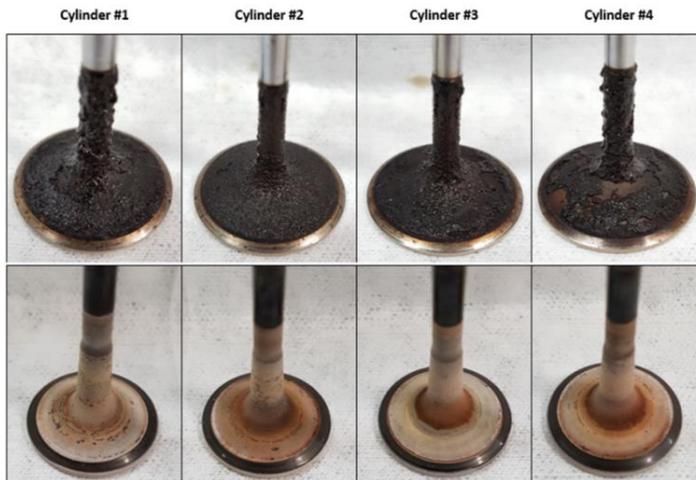
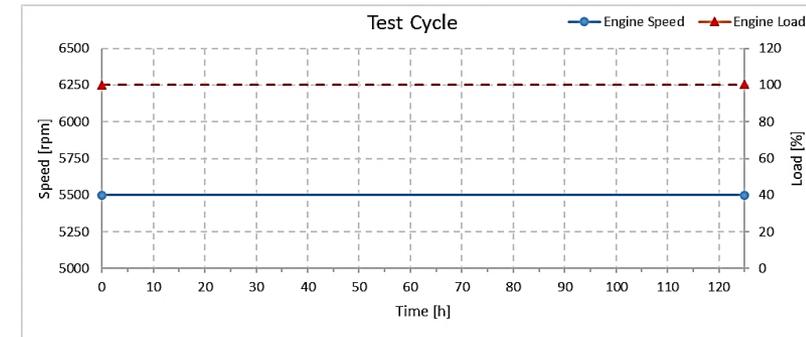
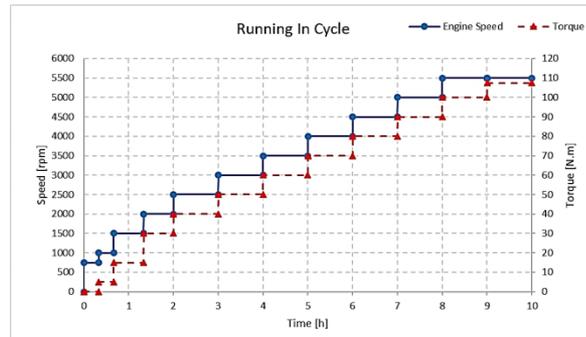
Distribución de pérdidas de energía en vehículos automotores

Aplicaciones



2008

Aplicaciones

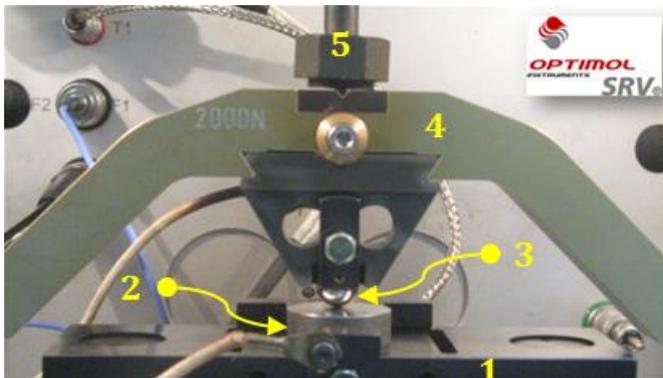


- ✚ Dinamómetro
- ✚ Motor (2)
- ✚ Combustible: Gasolina (E27) ~ Etanol (E100)
- ✚ Tiempo: 135 h / teste (1 W)
- ✚ HH

Aplicaciones

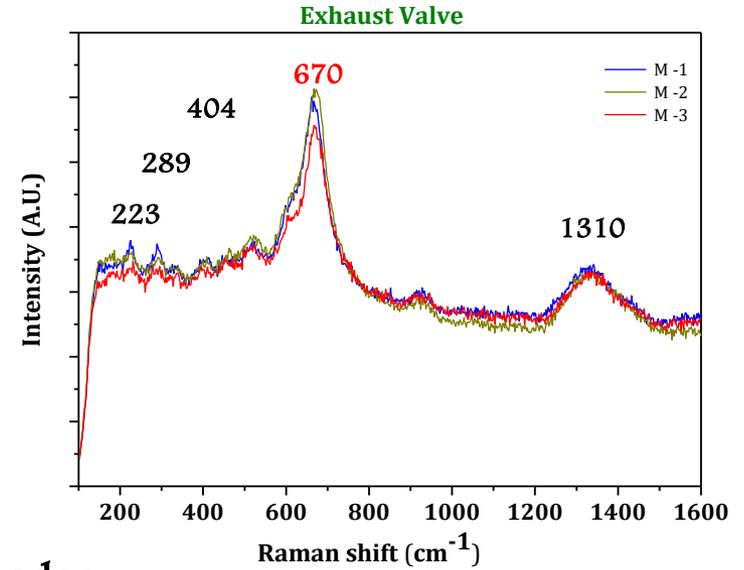
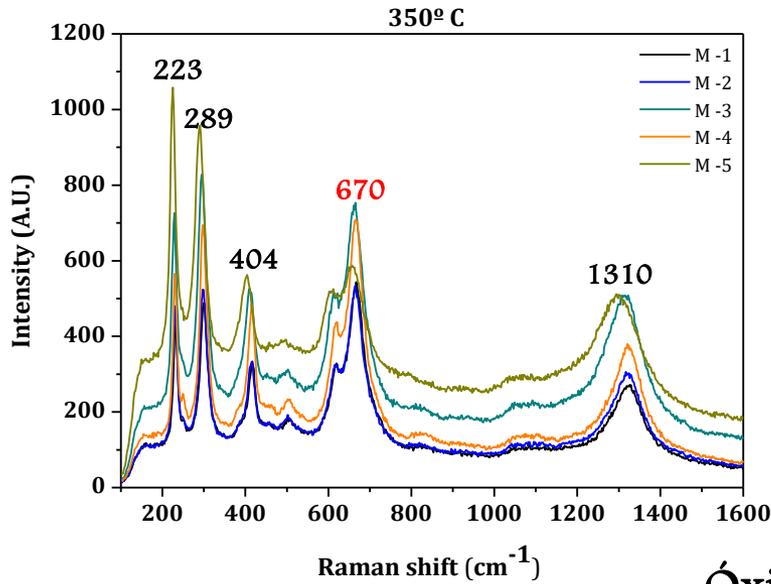


- ✚ Bancada de prueba
- ✚ Motor parcial (2)
- ✚ Combustible: X
- ✚ Tiempo: 135 h / teste (1 W)
- ✚ HH



- ✚ Tribómetro
- ✚ Esfera ~ Disco
- ✚ Combustible: X
- ✚ Tiempo: 30 ~ 15 h / teste (1 día)
- ✚ HH

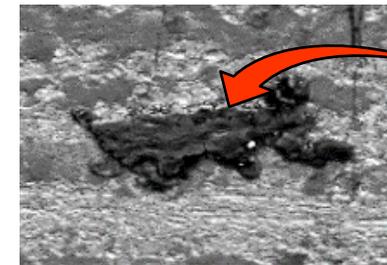
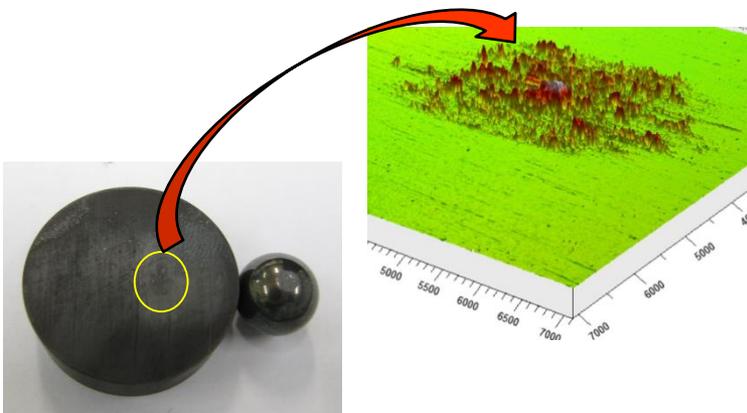
Aplicaciones



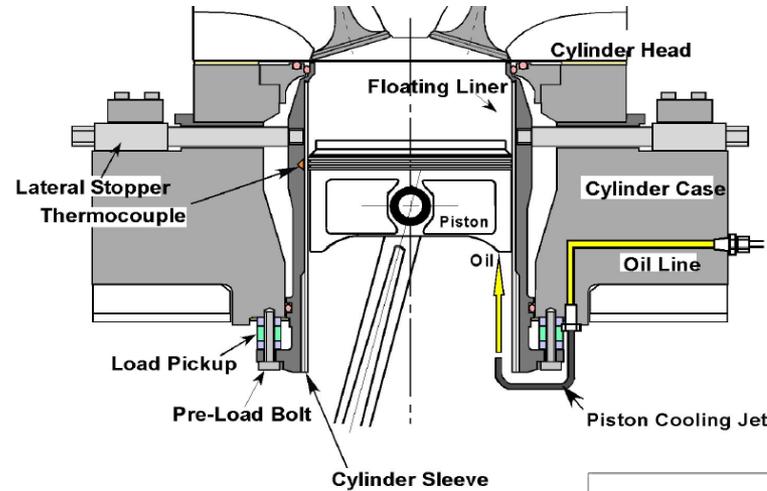
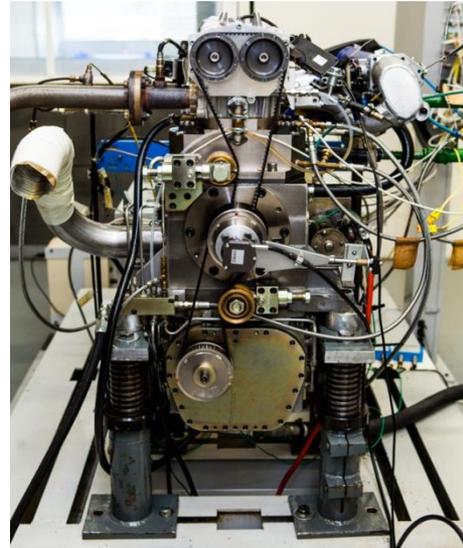
Óxidos identificados

Hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$)

Magnetita (Fe_3O_4)

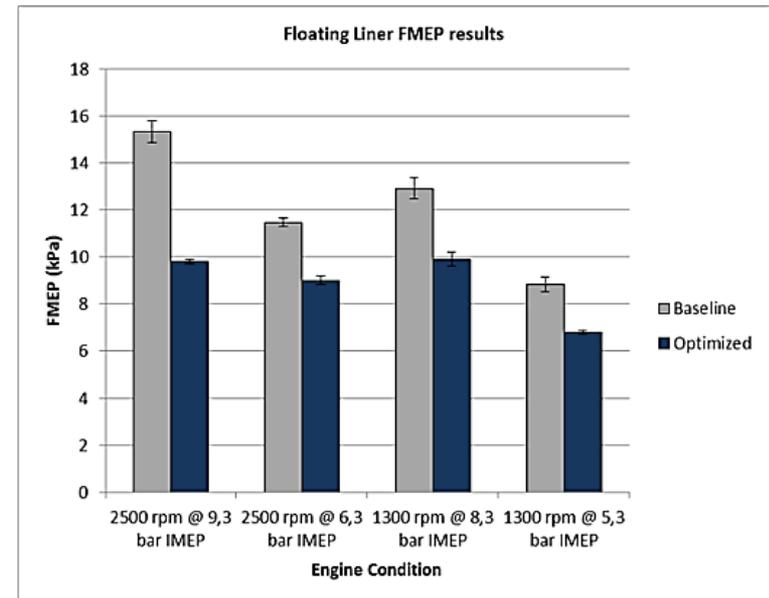
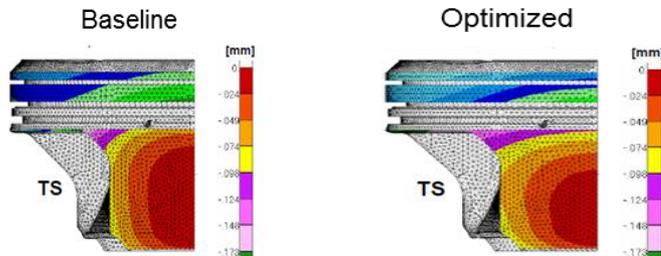


Aplicaciones



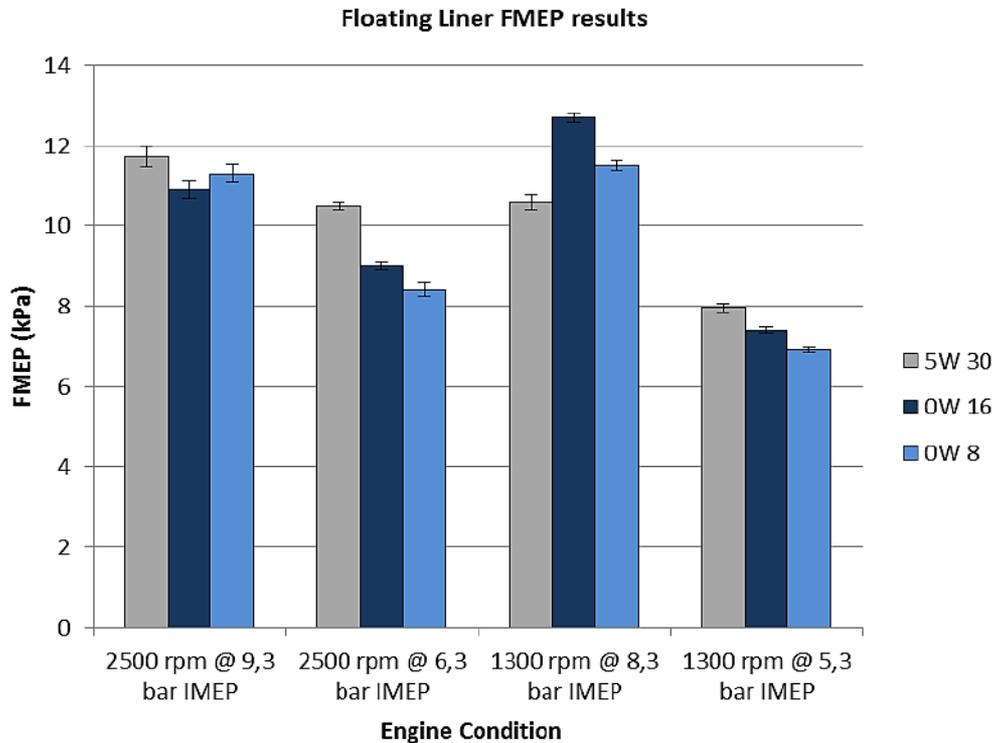
Ciclo de teste

Engine Speed (RPM)	IMEP (bar)
2500	8,3
2500	5,3
2500	2.5
1300	8,3
1300	5,3
1300	2.5



“Optimized” presentó una mayor reducción de FMEP, resultando en 0,4 a 0,6% aproximadamente de BSFC.

Aplicaciones



Power Cell FMEP [kPa]			
	5W 30	0W 16	0W 8
2500 rpm @ 9,3 bar IMEP	11,7	10,9	11,3
2500 rpm @ 6,3 bar IMEP	10,5	9,0	8,4
1300 rpm @ 8,3 bar IMEP	10,6	12,7	11,5
1300 rpm @ 5,3 bar IMEP	8,0	7,4	6,9

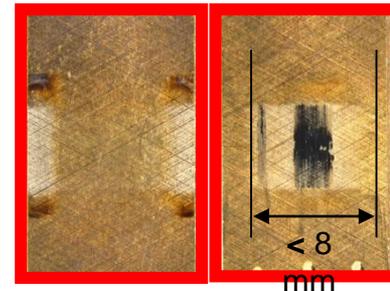
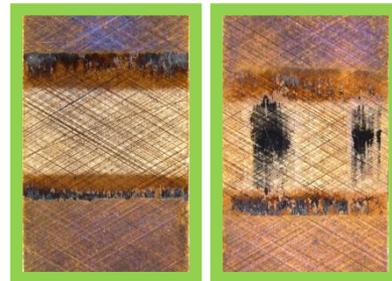
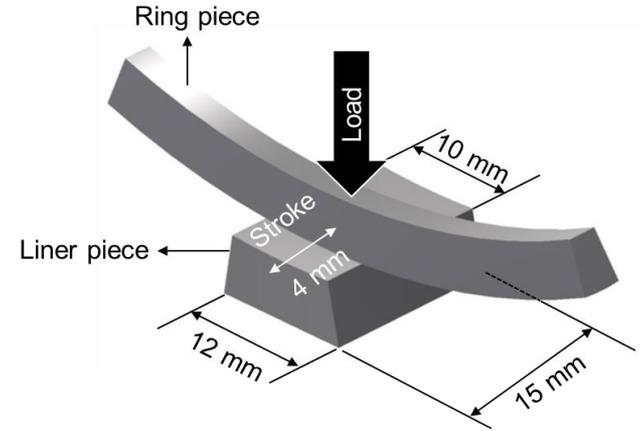
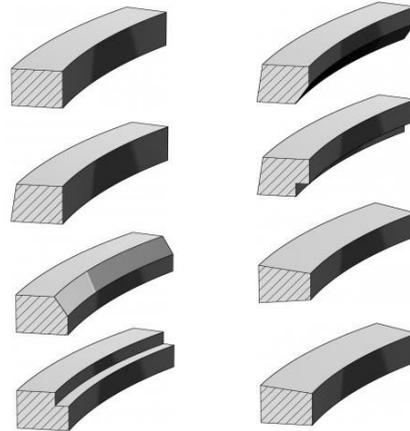
FMEP reduction from Baseline		
	0W 16	0W 8
2500rpm @ 9,3bar IMEP	7%	4%
2500rpm @ 6,3bar IMEP	14%	20%
1300rpm @ 8,3bar IMEP	-20%	-8%
1300rpm @ 5,3bar IMEP	7%	13%

Green – clear FMEP reduction
Black – not distinguishable
Red – clear FMEP increase

Para 2500 rpm @ 6,3 Bar

□ **0W8 ~ 20% - 0W16 ~ 14%**

Aplicaciones

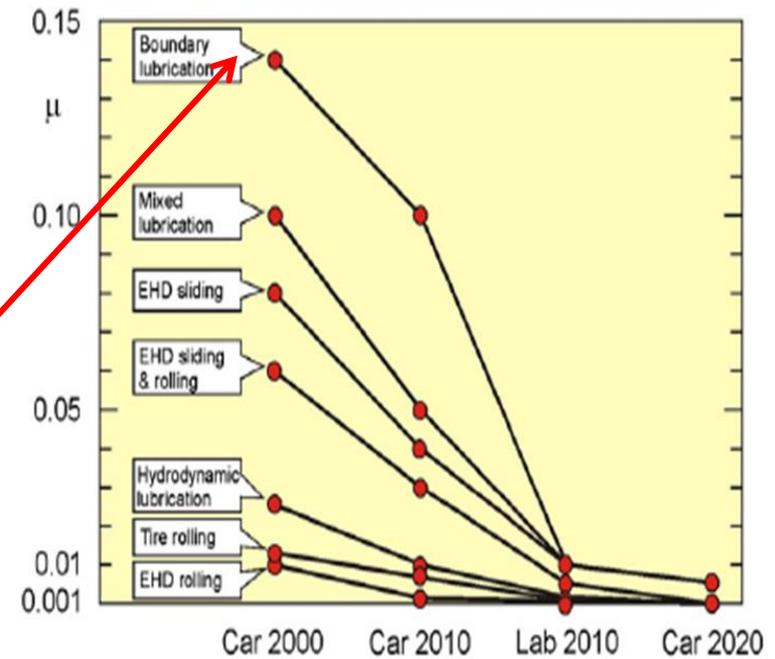
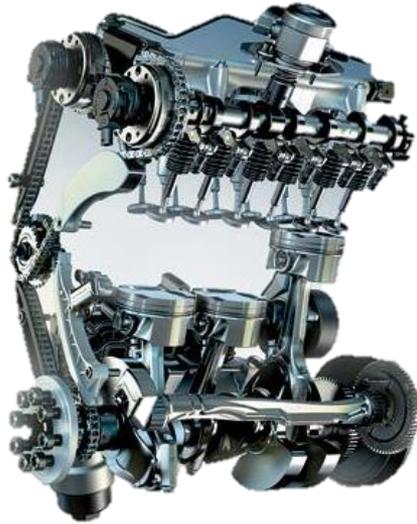


Criterio de validación de los ensayos

Después de los ensayos el aspecto de contacto entre el anillo y la camisa debe ser evaluado para aprobar o reprobar cada ensayo.

❑ **Ensayos invalidados deben ser descartados y repetidos.**

Aplicaciones



Tribological contact performance for four classifications of passenger car [33,39,45,4

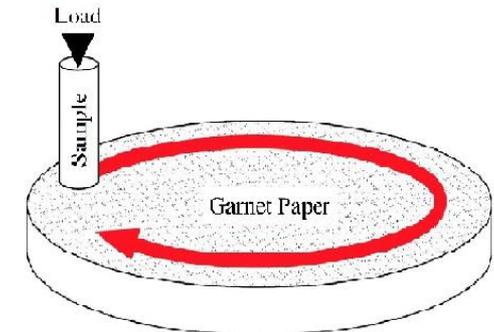
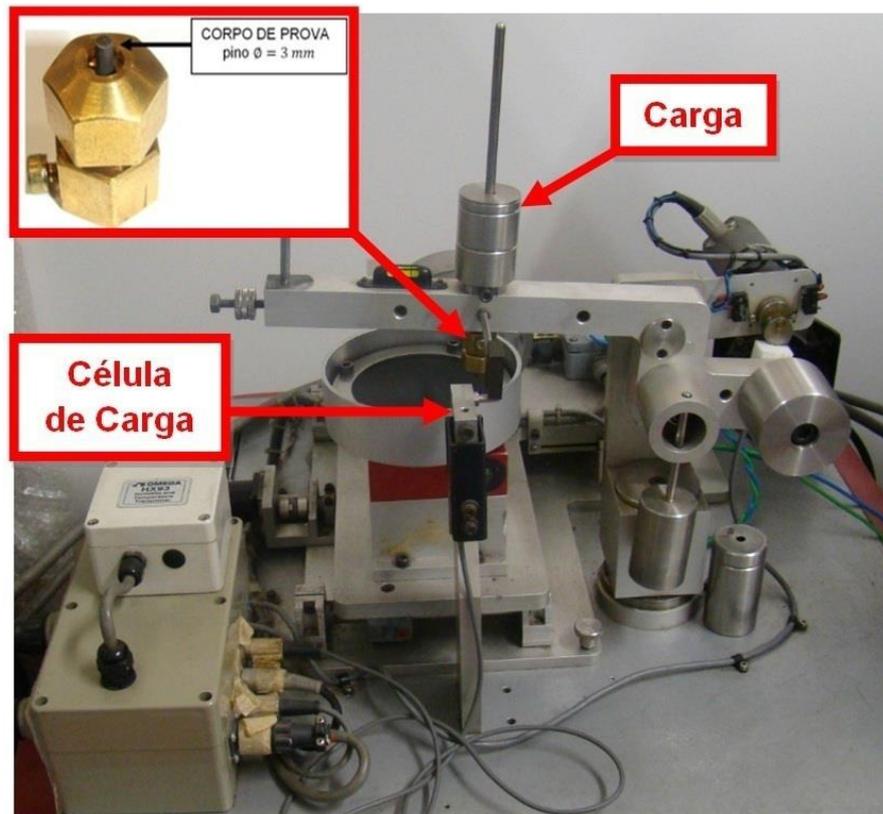
Contact types acting as friction loss sources	Coefficients of friction			
	Car 2000	Car 2010	Lab 2010	Car 2020
Boundary lubrication (e.g., piston ring contact)	0.14	0.1	0.01	0.005
Mixed lubrication (e.g., piston ring contact)	0.10	0.05	0.01	0.005
HD lubrication (e.g. engine bearing)	0.025	0.01	0.002	0.001
EHD sliding (e.g., piston ring contact)	0.08	0.04	0.01	0.005
EHD sliding and rolling (e.g., transmission gears)	0.06	0.03	0.005	0.0008
EHD rolling (e.g., transmission roller bearing)	0.01	0.002	0.001	0.0005
Tire rolling ^a	0.013	0.007	0.003	0.001
Resistance to viscous shear (cSt at 80 °C)	18	12	8	1



Aplicaciones en la Industria Minera

Aplicaciones

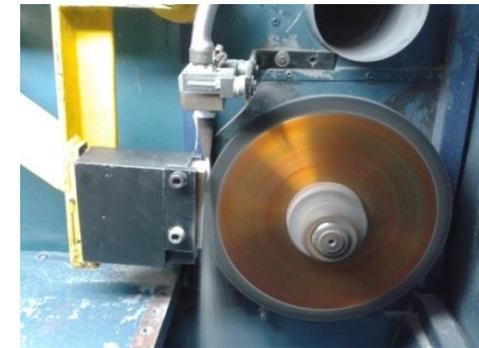
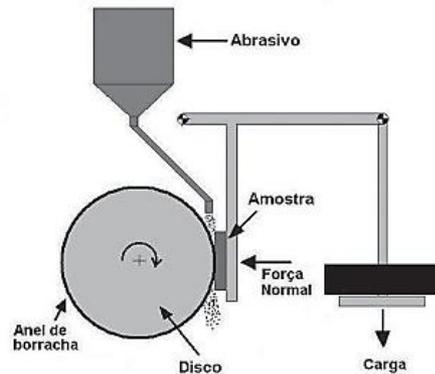
Abrasião a 2 corpos



Parâmetros do ensaio

- Carga: 4,6 N
- Pressão nominal 0,65 Mpa
- Rotação Fixa 66 RPM
- Diâmetro do pino: 3 mm
- Vel. desl. rad. 0,158 m/s
- Deslocamento radial 35 mm
(raio inicial 40 mm – final 5 mm)
- Percurso em espiral
(superposição de apenas 1/3 da pista)

Tribómetro Rueda de Caucho – ASTM G65



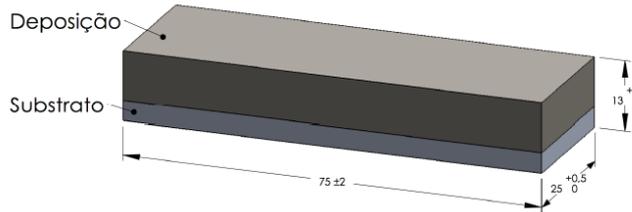
Procedimientos	Carga (N)	Revolución (ciclos)	Abrasión lineal (m)
A	130	6000	4309
B	130	2000	1436
C	130	100	71,8
D	45	6000	4309
E	130	1000	718

Aplicaciones

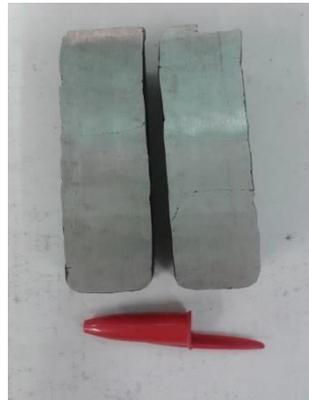
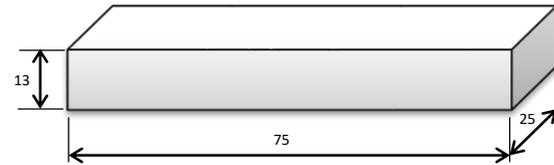


Cuerpos de Prueba

Material Depositado



Material Fundido / Forjado



Aplicaciones



Materiales

- Aço S235JRG2
- H5
- H6
- CDP



(a) Hardox 500



(b) Hardox 600



(c) S235JRG2



(d) CDP

Aplicaciones



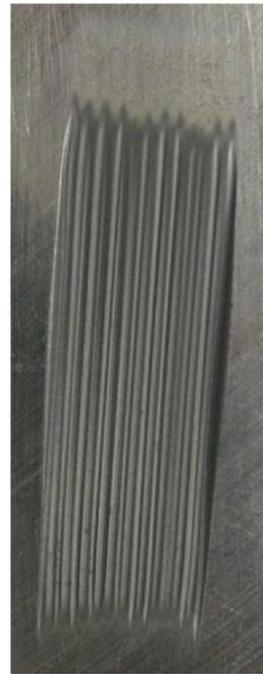
Materiales

- Aço S235JRG2
- H5
- H6
- CDP

Profundidad de las marcas de desgaste inversamente proporcional con la dureza



(a) CDP



(b) S235JRG2



(c) Hardox 500



(d) Hardox 600



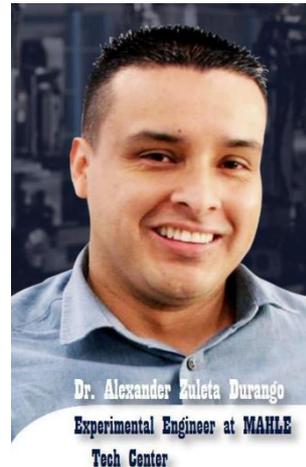
Tópicos sobre Tribología y sus Aplicaciones en la Industria

Muito Obrigado!



São Paulo ~ Brasil

Tópicos sobre Tribología y sus Aplicaciones en la Industria.



Dr. Alexander Zuleta Durango
Experimental Engineer at MAHLE
Tech Center

PhD. Alexander Zuleta Durango

Experimental Engineer at Brazil MAHLE Tech Center

alexanderzuleta12@gmail.com

<https://www.linkedin.com/in/alexander-zuleta-durango-367279161/>

+55 11 97520 7499

São Paulo ~ Brasil