

# LAS EMISIONES DE FUENTES MÓVILES EN CONDICIONES DE ALTURA

KARSTEN KUNCKEL

SISTEMA AUTOMOTRIZ SRL  
e-mail: [kkunckel@amauta.rcp.net.pe](mailto:kkunckel@amauta.rcp.net.pe)

# INFLUENCIA DE LA ALTURA

## CONDICIONES DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA

- Disminuye a medida que aumenta la altura

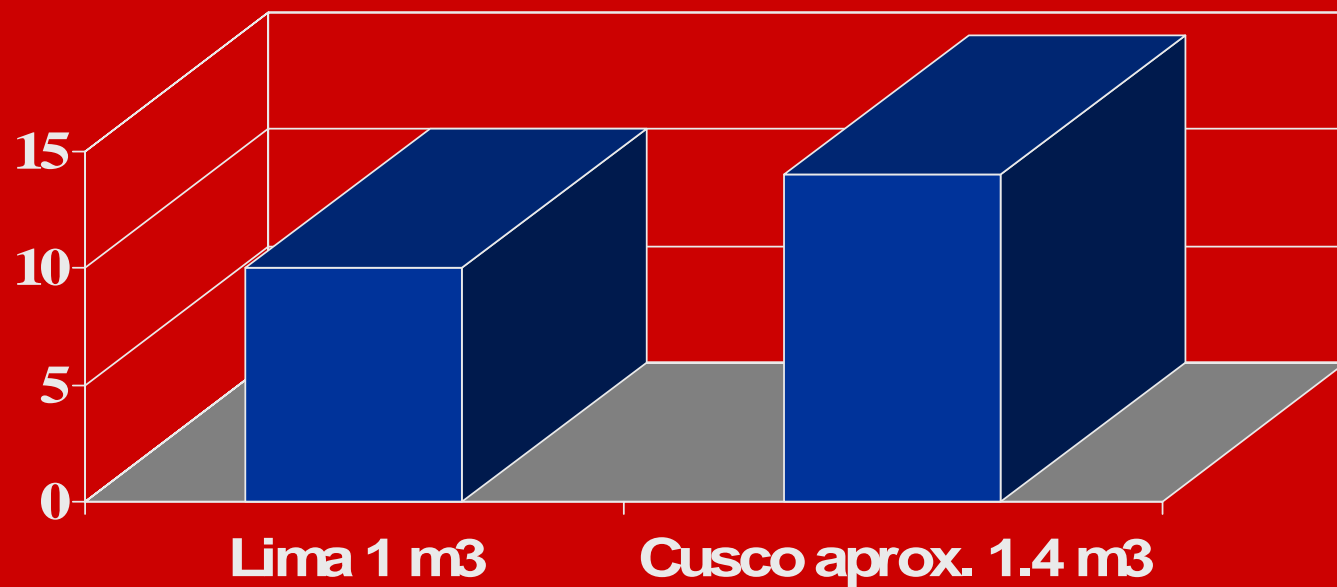
## CONDICIONES DE VOLUMEN DE GASES

- Aumenta a medida que aumenta la altura

# CONDICIONES ATMOSFÉRICA EN DIFERENTES CIUDADES DEL PERÚ EL DÍA 12.04.2005 A LAS 12.00 AM

Ciudad	Altura M.S.N.M.	Presión hPa	Humedad %	Temperatura ° C
Lima	110	994.8	74 %	24.0 ° C
Cuzco	3650	669.0	42 %	16.2 ° C
Arequipa	2775	737.2	35 %	20.9 ° C
Pisco	2	1008.4	64 %	22.6 ° C

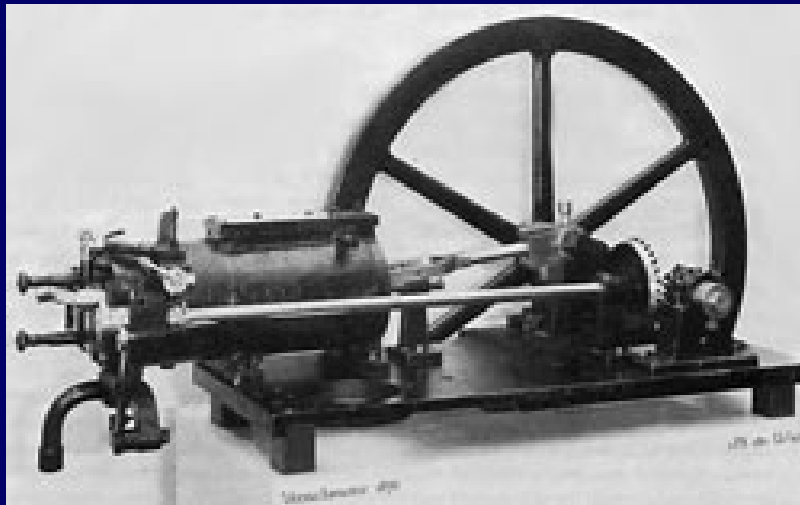
# EXPANSIÓN DEL VOLUMEN DE AIRE LIMA VS CUSCO



# DISMINUCION DE OXIGENO EN LA ALTURA



# LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN NECESITAN OXIGENO



1876 primer motor de cuatro ciclos de Nikolaus Otto con un grado de eficiencia del 15%



Grados de eficiencia de motores modernos:  
Turbodiesel Intercooler hasta 41 %  
Motor a gasolina hasta 31 %

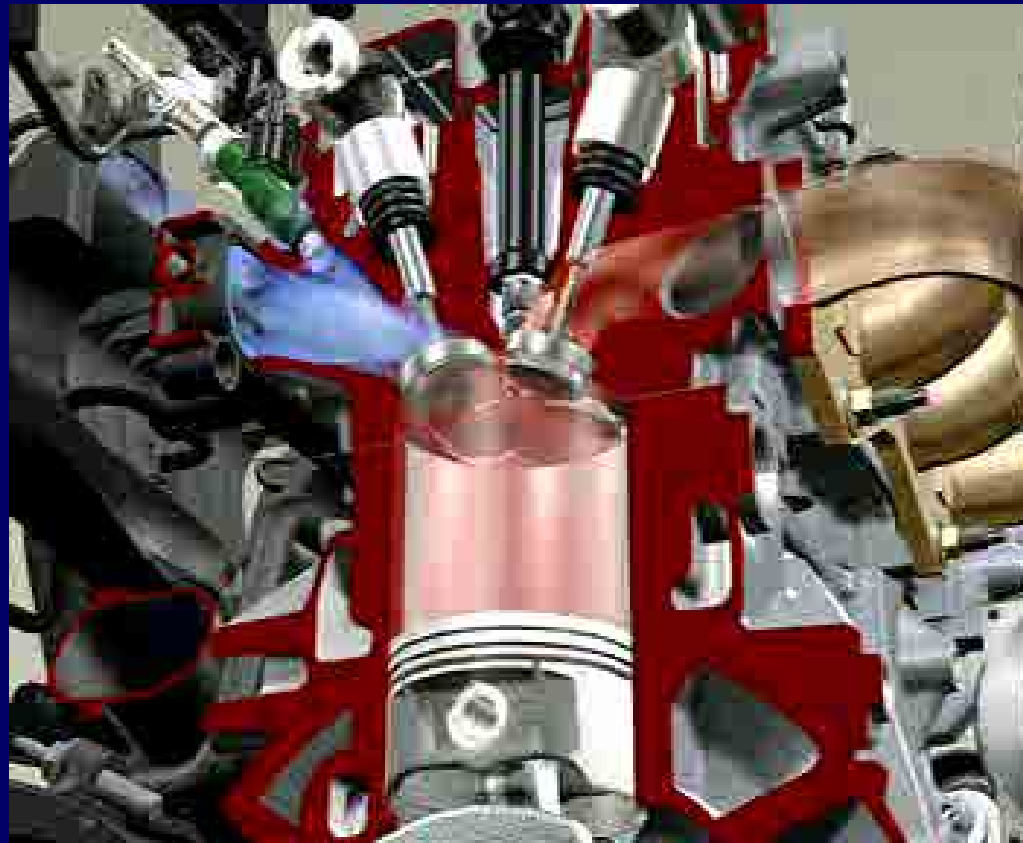
# FACTOR PRINCIPAL PARA LLEGAR A UNA BUENA EFICIENCIA DE MOTOR

- La capacidad de flujo y llenado de la cámara de combustión es el factor predominante para la eficiencia del combustible y del motor



- MAYOR EFICIENCIA = MENOR CONSUMO = MENOR CONTAMINACIÓN

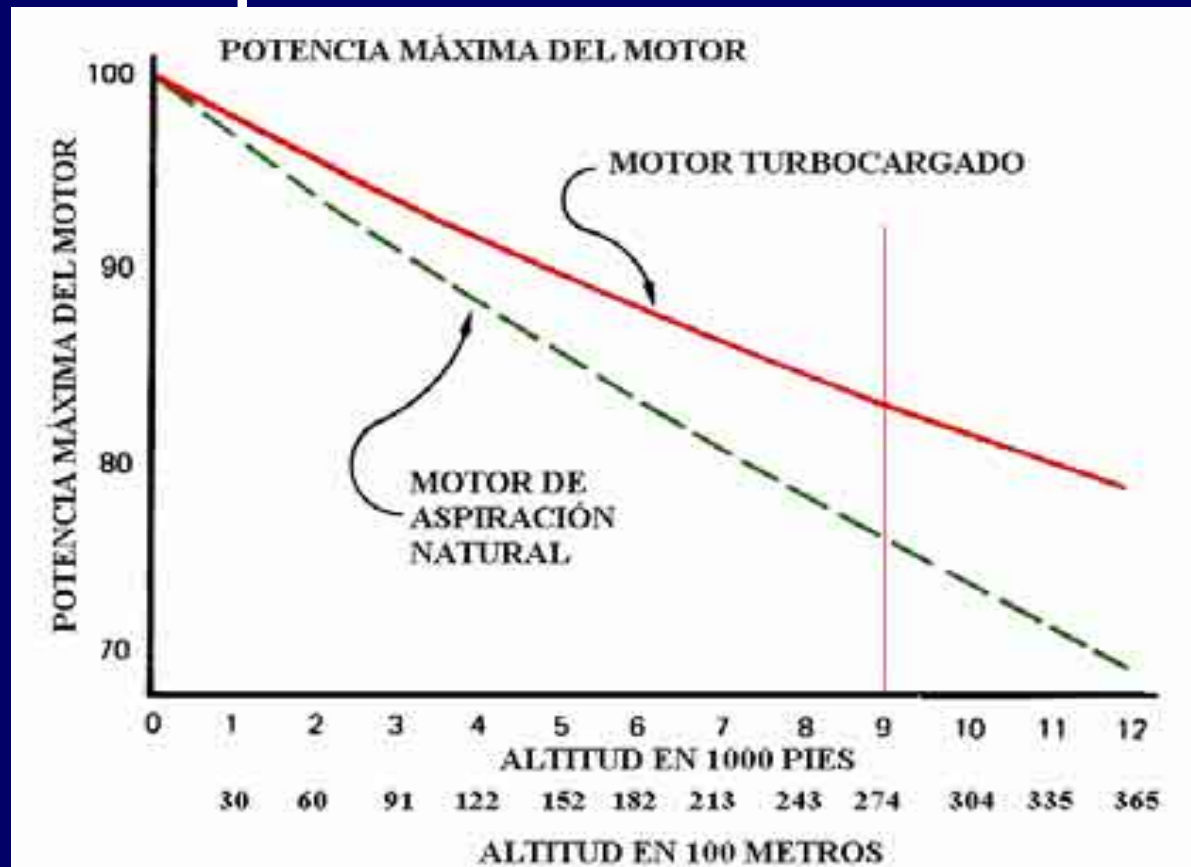
LA COMPLEJIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DEPENDE DE SOBREMANERA DE LOS FACTORES ANTES MENCIONADOS



# RELACIÓN DE LA POTENCIA DE MOTOR CON LA ALTURA DE OPERACIÓN

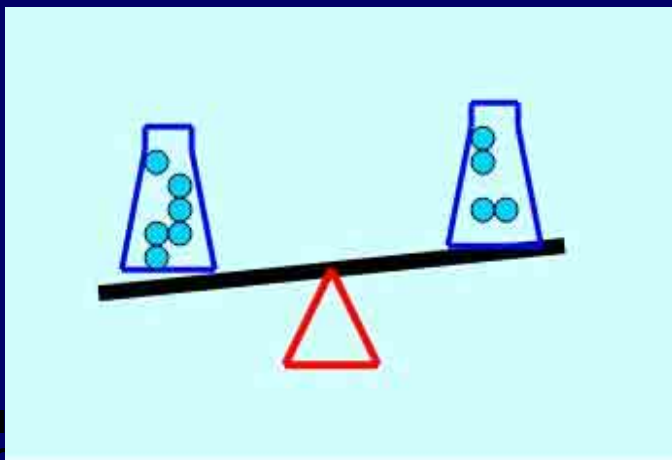
- Por cada 100 m de altura se reduce la potencia del motor en aprox. 1%
- Un motor con 100 kW de potencia desarrolla solo 65 kW a 3500 m de altura
- En altura los motores consumen mas combustible y trabajan con menor grado de eficiencia

# Influencia de la altura en un vehículo turbo vs uno de aspiración natural



# ¿PORQUE INFLUYE LA ALTURA EN EL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR?

- El aire en altura es menos denso y su volumen contiene menos moléculas de oxígeno



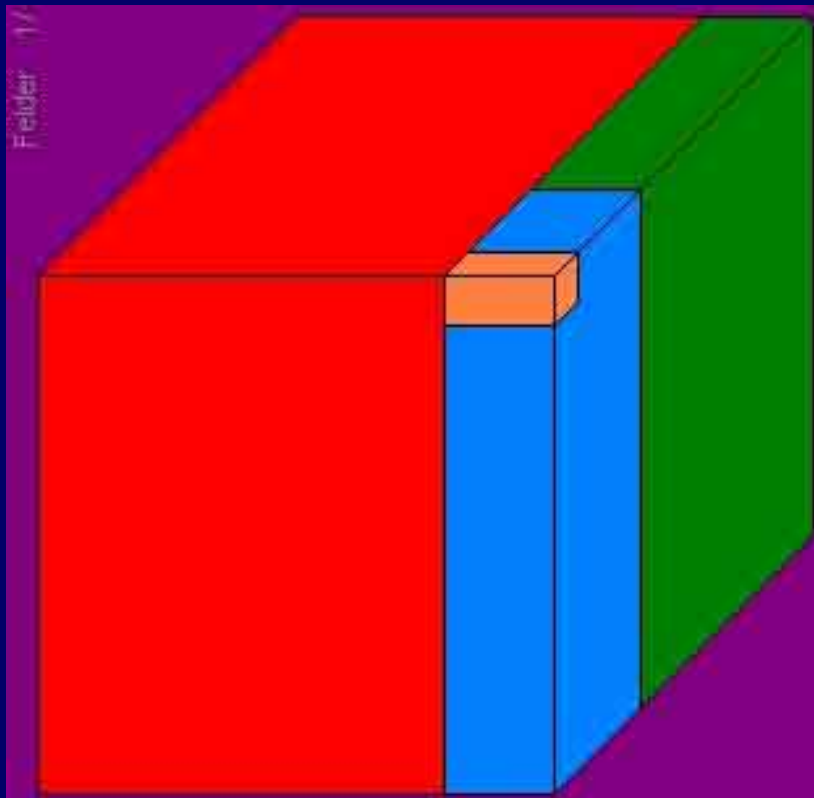
EL M  
MENC  
EN LA ALTURA



- La capacidad de llenado de cilindro disminuye, la compresión baja y la mezcla aire combustible contiene menos oxígeno que a nivel de mar

# COMPOSICIÓN DE LAS EMISIONES SEGÚN EURO 3

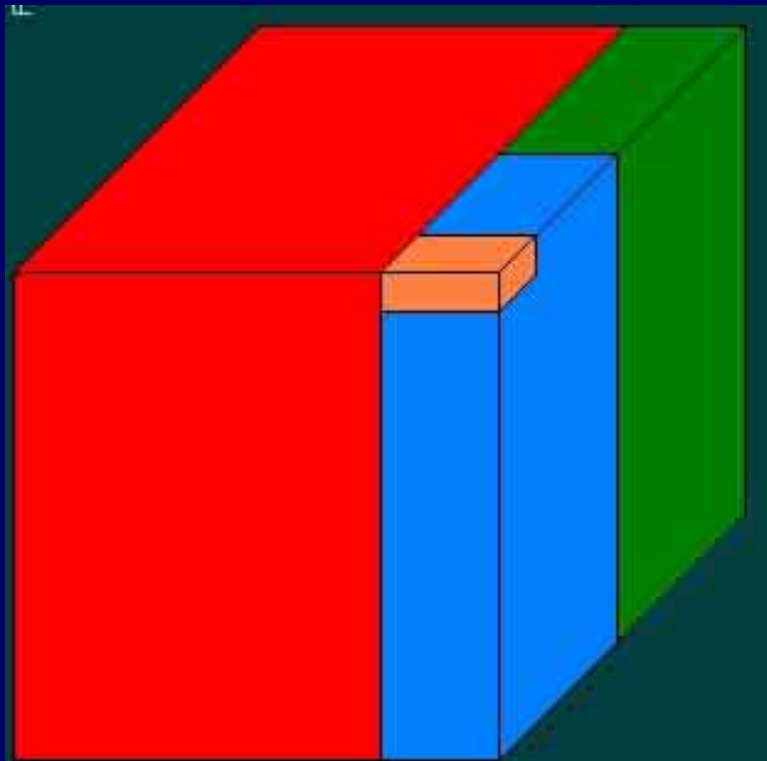
A nivel de mar en kg Motor Gasolina Euro 3 5l / 100 km



Nitrógeno N <sub>2</sub>	43.00 kg/100 km
Vapor de Agua H <sub>2</sub> O	10.80 kg/100 km
Dióxido de carbono CO <sub>2</sub>	4.98 kg/100 km
CO + NO <sub>x</sub> + HC + .....	0.20 kg/100 km

# COMPOSICIÓN DE LAS EMISIONES SEGÚN EURO 3

A nivel de mar en m<sup>3</sup> Motor Gasolina Euro 3 5l / 100 km



Nitrógeno N <sub>2</sub>	34.30 m <sup>3</sup> /100 km
Vapor de Agua H <sub>2</sub> O	6.17 m <sup>3</sup> /100 km
Dióxido de carbono CO <sub>2</sub>	5.54 m <sup>3</sup> /100 km
CO + NO <sub>x</sub> + HC + .....	0.15 m <sup>3</sup> /100 km

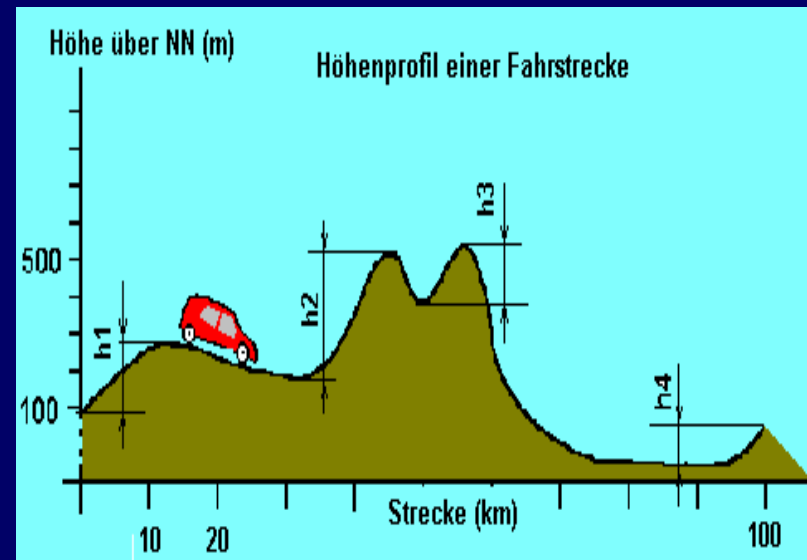


# LAS EMISIONES NOCIVAS

SE PUEDEN SUBDIVIDIR EN TRES GRUPOS:

- Las que aparecen por la quema incompleta del combustible (Hollín, CO, HC)
- Las que son consecuencias de reacciones secundarias (Nox)
- Los productos de reacción del combustible (SO<sub>2</sub>)

# EN EL PERÚ NO EXISTEN LABORATORIOS PARA REALIZAR PRUEBAS DE CICLO DE MANEJO



- LAS PRUEBAS QUE REALIZAN LOS FABRICANTES DE AUTOMOVILES SON A NIVEL DE MAR Y CON COMBUSTIBLES DE ULTIMA GENERACIÓN

# LAS EXPERIENCIAS EN EL CONTROL DE EMISIONES SE BASAN EN PRUEBAS ALEATORIAS EN ALTURA Y PLANTAS DE CONTROL DE HUMOS EN AREQUIPA Y CUSCO



- SE UTILIZAN ANALIZADORES DE GASES Y OPACIMETROS HOMOLOGADOS Y APROBADOS POR EL MINISTERIO DE TRANSPORTE

# Limites Máximos Permisibles Perú

El 2001 se promulga el decreto supremo 047 que establece los límites máximos permisibles de emisiones de los vehículos automotores que circulan en la red vial del Perú.

			Reajuste a los 18 meses		
Vehículos gasolina	hasta 1995	desde 1996	hasta 1995	desde 1996	desde 2003
CO	4,5 %	3,5 %	3,5 %	3,0 %	0,5 %
HC	600 ppm	400 ppm	400 ppm	300 ppm	100 ppm
CO + CO2	10 %	10 %	10 %	10 %	12 %

Para Vehículos a Gasolina: Únicamente para controles en carretera o vía pública, que se realicen a más de 1800 m.s.n.m., se aceptarán los siguientes valores sólo para HC: modelos hasta 1995, HC 450 ppm y 8% CO + CO2, modelos 1996 en adelante, HC 350 ppm y 8% CO + CO2

# Limites Máximos Permisibles Perú

			Reajuste a los 18 meses		
Vehículos diesel	hasta 1995	desde 1996	hasta 1995	desde 1996	desde 2003
Factor k	3,4 m-1	2,8 m-1	3,0 m-1	2,5 m-1	2,1 m-1
Opacidad	77 %	70 %	72 %	65 %	60 %

Únicamente para controles en carretera o vía pública, que se realicen a más de 1000 m.s.n.m., se aceptará una corrección por altura de 0,25 k (m-1) por cada 1000 m.s.n.m. adicionales, hasta un máximo de 0,75 k (m-1)

Los vehículos nuevos importados deben corresponder a la EURO II

# NORMA TECNICA SOBRE LA CALIDAD DEL COMBUSTIBLE



## ESPECIFICACIONES REQUERIDAS

	Unidad	Actual	Futuro
<b>I) GLP</b>			
Contenido de Propano (*)	%vol	45 min.	70 min.
Contenido de Azufre	ppm	150 max.	140 max.
<b>II) Gasolinas</b>			
Aromáticos	%vol	100 max.	45 max.
Benzenos	%vol	100 max.	2.5 max.
Olefinas	%vol	100 max.	25 max.
Contenido de plomo 2004	gr/lt	0.14 max.	0.00
Contenido de Azufre	ppm	1000 max.	400 max.
<b>III) Diesel</b>			
Indice de Cetano (*)		45 min.	47 min.
Contenido de Azufre	ppm	7000 max.	500 max.

(\*) Estas especificaciones mejoran la calidad del producto tanto en el aspecto técnico como el de protección al medio ambiente.

# ESTUDIO DE EMISIONES DE FUENTES MÓVILES A DIFERENTES ALTURAS

	Altura	Distancia de Lima
CORCONA	1200 M.S.N.M.	48 km
MATUCANA	2380 M.S.N.M.	76 km
SAN MATEO	3150 M.S.N.M.	95 km



DATOS DEL COMITÉ DE GESTION DE LA INICIATIVA DEL AIRE LIMPIO PARA LIMA Y CALLAO

# RESULTADOS DE PRUEBA DE EMISIONES I MOTORES A GASOLINA

Marca	Toyota		Mitsubishi		Hyundai	
Modelo	Corsa AX	Año 93	Chariot	Año 94	Exel	Año 94
RPM	750 rpm	2500 rpm	750 rpm	2500 rpm	750 rpm	2500 rpm
CO 1200m	0.42 %	0.71 %	0.01 %	0.96 %	4.59 %	2.86 %
CO 2380m	0.71 %	1.01 %	0.00 %	5.51 %	6.31 %	4.89 %
CO 3150m	0.96 %	1.08 %	0.00 %	3.74 %	8.19 %	6.61 %
HC 1200m	147 ppm	101 ppm	69 ppm	129 ppm	150 ppm	141 ppm
HC 2380m	299 ppm	202 ppm	16 ppm	203 ppm	212 ppm	206 ppm
HC 3150m	331 ppm	256 ppm	10 ppm	160 ppm	336 ppm	219 ppm
O2 / CO2 1200m	6.00 % 10.18 %	4.98 % 10.68	3.51 % 12.15 %	0.24 % 13.76 %	6.56 % 8.61 %	2.44 % 11.46 %
O2 / CO2 2380m	1.85 % 14.00 %	1.78 % 13.80 %	3.33 % 13.20 %	0.92 % 11.10 %	2.65 % 9.90 %	1.51 % 11.60 %
O2 / CO2 3150m	1.03 % 13.10 %	0.98 % 13.00 %	2.98 % 12.30 %	0.00 % 11.80 %	1.58 % 8.40 %	0.86 % 9.90 %

DATOS DEL COMITÉ DE GESTION DE LA INICIATIVA DEL AIRE LIMPIO PARA LIMA Y CALLAO

# RESULTADOS DE PRUEBA DE EMISIONES II

## MOTORES A GASOLINA

Marca	Toyota		Honda		Daewoo	
Modelo	Corona	Año 92	Civic	Año 93	Cielo	Año 96
RPM	750 rpm	2500 rpm	750 rpm	2500 rpm	750 rpm	2500 rpm
CO 1200m	0.02 %	0.17 %	0.10 %	0.13 %	0.00 %	0.05 %
CO 2380m	0.05 %	0.11 %	0.07 %	0.75 %	0.00 %	0.03 %
CO 3150m	0.10 %	0.09 %	0.18 %	0.18 %	0.07 %	0.14 %
HC 1200m	143 ppm	114 ppm	280 ppm	138 ppm	60 ppm	30 ppm
HC 2380m	139 ppm	94 ppm	307 ppm	165 ppm	91 ppm	99 ppm
HC 3150m	180 ppm	104 ppm	279 ppm	194 ppm	58 ppm	47 ppm
O2 / CO2 1200m	3.27 %	2.60 %	4.88 %	4.49 %	4.13 %	3.81 %
	12.43 %	12.86 %	11.23 %	11.49 %	14.84 %	11.87 %
O2 / CO2 2380m	0.91 %	0.92 %	1.11 %	0.91 %	4.50 %	4.49 %
	15.10 %	15.00 %	14.00 %	14.50 %	15.24 %	12.60 %
O2 / CO2 3150m	0.03 %	0.09 %	0.01 %	0.00 %	4.10 %	1.85 %
	14.40 %	14.30 %	14.20 %	14.10 %	14.90 %	13.00 %

DATOS DEL COMITÉ DE GESTION DE LA INICIATIVA DEL AIRE LIMPIO PARA LIMA Y CALLAO

# RESULTADOS DE PRUEBA DE EMISIONES III

## MOTORES DIESEL

- Los vehículos con limitador de humos (compensador de altura) tienen emisiones de partículas parecidas en todas las alturas siempre en cuando este tenga el rango de altura necesario
- Los vehículos sin limitador de humo aumentan significativamente la emisión de partículas

- SE PUDO OBSERVAR QUE A MAYOR ALTURA LOS MOTORES DIESEL (EN GENERAL) TIENEN UNA MAYOR INCIDENCIA DE ACUMULAR PARTÍCULAS (HOLLIN) EN SU INTERIOR Y EN LAS VIAS DE ESCAPE
- CUANDO EL MOTOR SE OPERA ANTES DE LA PRUEBA POR UN BREVE TIEMPO A RALENTI LOS PRIMEROS RESULTADOS DE LA PRUEBA DE EMISIONEA ARROJARÁN VALORES MUCHO MAS ELEVADOS HASTA QUE SE ELIMINE EL HOLLÍN ACUMULADO

# PRUEBA DIESEL

MERCEDES BENZ 290 GD AÑO 1994 DIESEL CON COMPENSADOR DE ALTURA (SIN TURBO)	PRUEBA 1 A 2380 M.S.N.M. FACTOR $k = m^{-1}$	PRUEBA 2 A 3150 M.S.N.M. FACTOR $k = m^{-1}$
Primera aceleración	2.85 m - 1	3.54 m - 1
Segunda aceleración	2.16 m - 1	2.22 m - 1
Tercera aceleración	2.04 m - 1	2.04 m - 1
Cuarta aceleración	1.97 m - 1	1.95 m - 1
Quinta aceleración	1.78 m - 1	1.81 m - 1
Sexta aceleración	1.79 m - 1	1.62 m - 1

- En la mayoría de los casos la acumulación de hollín se debe a combustibles de baja calidad problemas que se acentúan en la altura.

# CONCLUSIONES

- La combustión es “mas fría” disminuye la emisión de NOx
- La compresión baja, se podría utilizar combustibles de menor Octanaje
- Aumenta el consumo de combustible y la emisión de HC, CO y partículas (en el caso del diesel)
- Disminuye el rendimiento y el grado de eficiencia del motor (consume mas combustible y rinde menos performance)

CONTRARIO A LA OPINIÓN DE MUCHOS AUTOMOVILISTAS ES FALSO QUE EL EXESO DE HUMO NEGRO EN ALTURA ASEGURA UNA MAYOR PERFORMANCE EN LOS VEHÍCULOS DIESEL.

EL HUMO NEGRO ES RESULTADO DE UNA COMBUSTIÓN INCOMPLETA Y REFLEJA EL EXESO DE COMBUSTIBLE QUE SE ESPARSE INÚTILMENTE AL AIRE.

LAS CONSECUENCIAS SON UN CONSUMO MAYOR DE COMBUSTIBLE, UNA REDUCCIÓN CONSIDERABLE DE LA VIDA ÚTIL DEL MOTOR Y EFECTOS COLATERALES SUMAMENTE DAÑINOS PARA EL MEDIO AMBIENTE Y LA SALUD HUMANA.

El desconocimiento y la improvisación tienen una gran influencia en las emisiones nocivas



LOS DEPÓSITOS INDESEADOS POR  
MALA CALIDAD DE COMBUSTIBLE SE  
ACENTÚAN EN LA ALTURA

# Características de combustibles de baja calidad

- Gasolina

- Contenido de plomo
- Contenido elevado de azufre
- Bajo octanaje
- Falta de aditivos

- Diesel

- Elevado contenido de azufre
- Bajo cetanaje
- Falta de aditivos

# VÁLVULA AFECTADA

- Las carbonizaciones se depositan en las válvulas, precámaras y en las cámaras de combustión, reducen la potencia del motor e incrementan las emisiones nocivas



# Sistemas modernos de inyección de gasolina



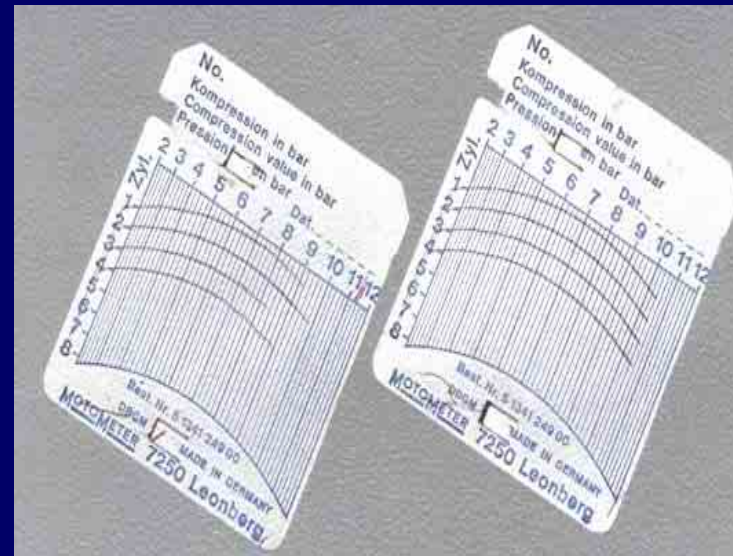
# PISTONES AFECTADOS POR DEPÓSITOS RESIDUALES DEL COMBUSTIBLE

**LIQUI  
MOLY**  
PERU



# Efectos de la carbonización

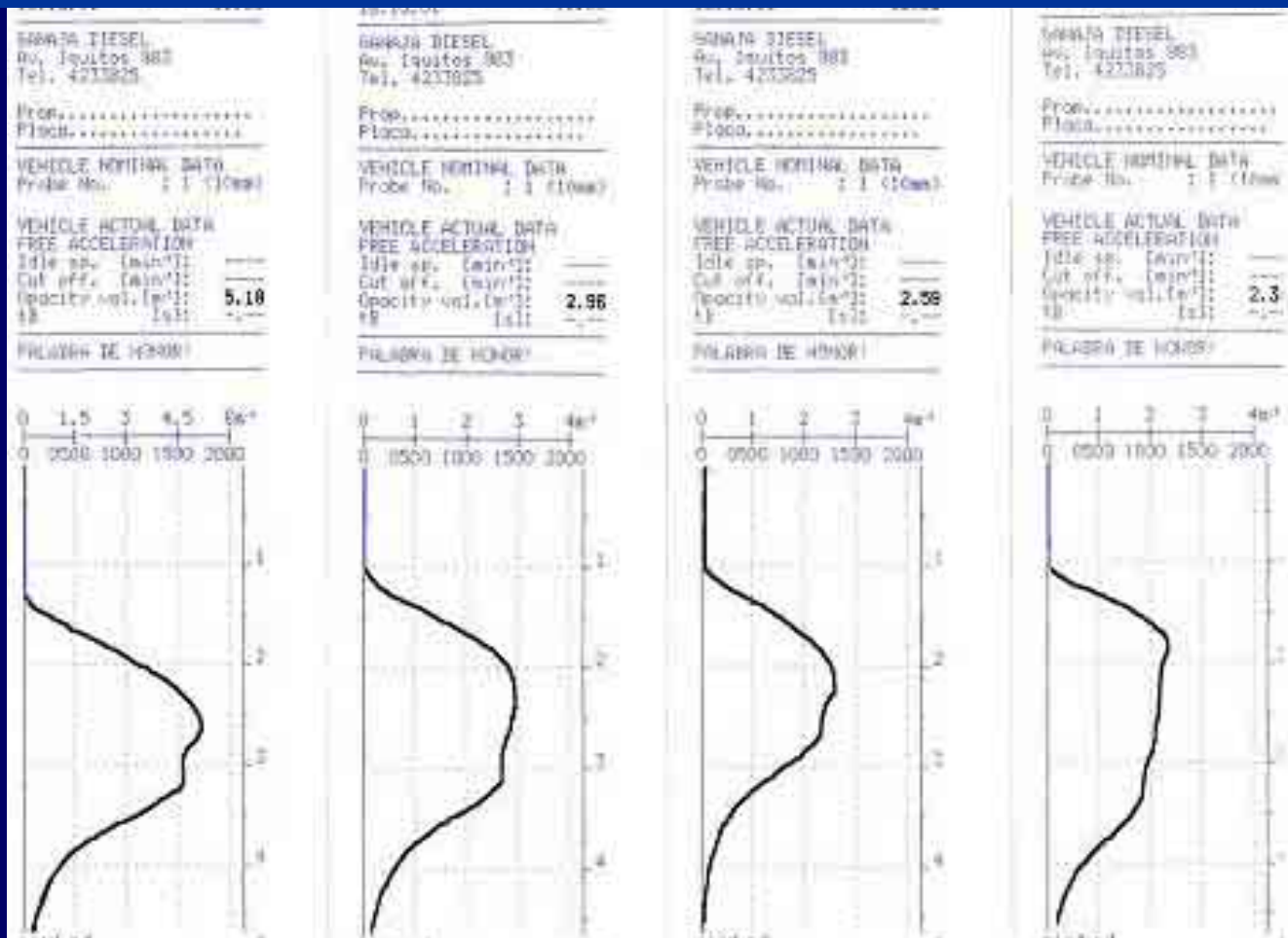
- La carbonización no permite un sellado adecuado del asiento de válvula causando pérdidas de compresión



Válvulas  
Carbonizadas

Válvulas  
Limpias

# REDUCCIÓN DE HOLLÍN DESPUÉS DE USAR ADITIVOS DESCARBONIZANTES (Aplicación del Diesel System Cleaner)



Factor k inicial  
 $k = 5,10 \text{ m}^{-1}$

20 Min. después  
 $k = 2,96 \text{ m}^{-1}$

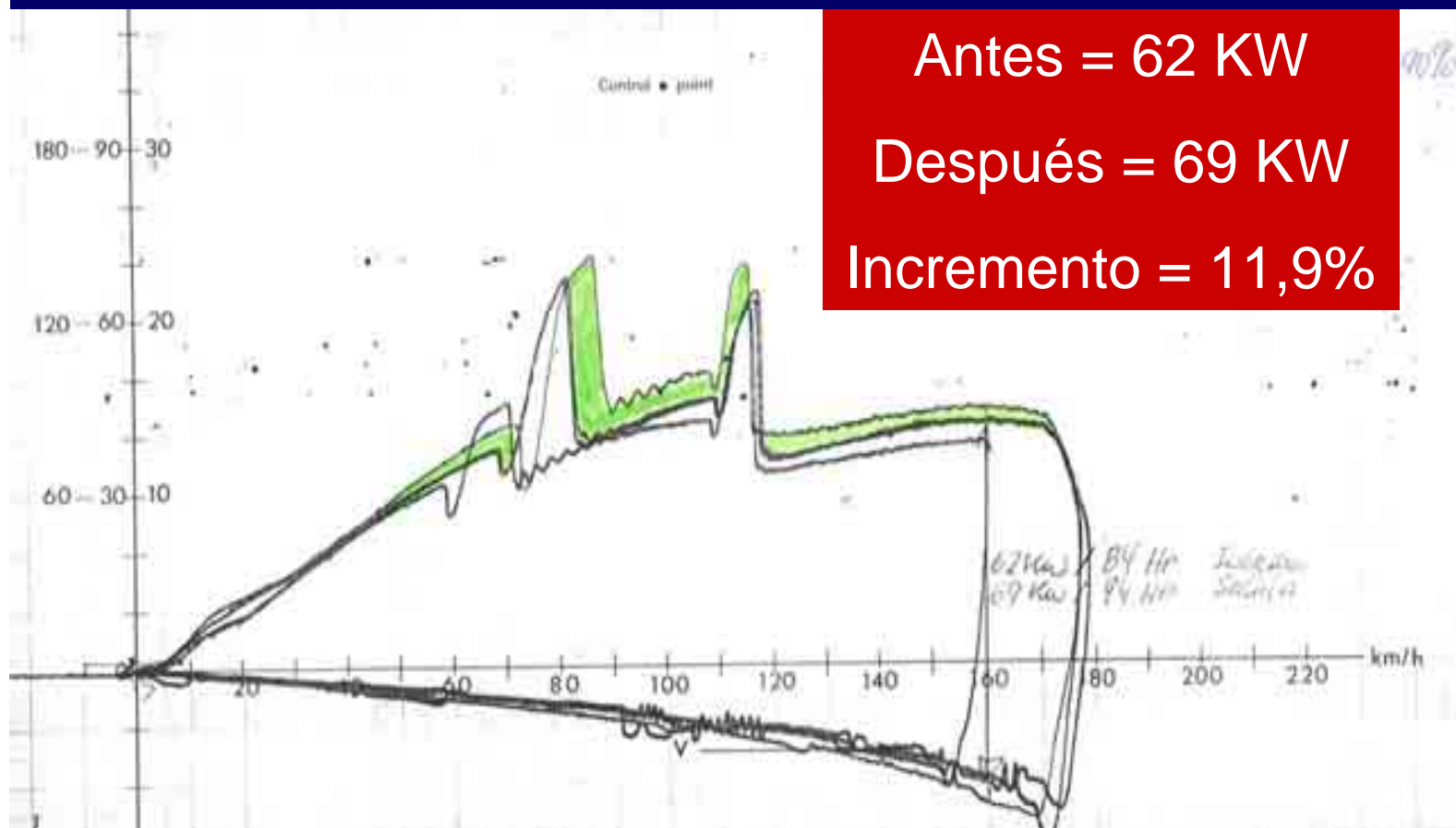
24 Min. después  
 $k = 2,58 \text{ m}^{-1}$

Factor k final  
 $k = 2,30 \text{ m}^{-1}$

# INCREMENTO DE POTENCIA DEPUÉS DE USAR ADITIVOS DESCARBONIZANTES (Aplicación del Diesel System Cleaner)



Antes = 62 KW  
Después = 69 KW  
Incremento = 11,9%



# CONVERTIDOR CATALÍTICO COLAPSADO POR UTILIZAR GASOLINA DE BAJO OCTANAJE CON PLOMO

**LIQUI  
MOLY**  
PERU



# CONSECUENCIAS PARA EL ACEITE DE MOTOR

**LIQUI  
MOLY**  
PERU



# Motor que colapsó por tener el silenciador de escape obstruido con hollín



# PIEZAS DE MOTOR AFECTADOS POR EL ÁLTO CONTENIDO DE AZUFRE EN EL COMBUSTIBLE



# MUCHAS GRACIAS



Record de altura a 6080m con un vehículo de serie