



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

Grado en Ingeniería Mecánica

**Evaluación del mantenimiento
predictivo de motores diesel.**

Autor:

Delgado Hidalgo, Samuel

Tutor:

**Manso Burgos, José Gabriel
CMelM/Ingeniería mecánica**

Valladolid, Enero del 2016.



	Evaluación del mantenimiento predictivo de motores diesel	Página 3 de 77
---	---	----------------

Palabras clave: Mantenimiento predictivo de motores diesel.

Resumen:

Título: Mantenimiento predictivo de motores diesel de media distancia.
Equipo Sys-DMA

Resumen: Partiendo de los datos del histórico de ensayos del equipo Sys-DMA y de las fichas de seguimiento de las piezas de parque, clasificar los motores en dos grupos:

- 1- Motores reutilizados: Aquellos que tras realizar el ensayo dan valores dentro de los criterios de aceptación.
- 2- Motores enviados a reparación general: Aquellos que tras el ensayo no cumplen las especificaciones y se envían a BMI-Madrid.

El equipo Sys-DMA es capaz de analizar motores de las series 592, 594 y 598. Adaptación del equipo de ensayo a la nueva serie de tren diesel media distancia S/599. Acotar valores de criterios de aceptación y rechazo.



Índice.

<u>1 Antecedentes del trabajo fin de grado.</u>	5
<u>2. Evaluación del mantenimiento predictivo de los motores diesel de media distancia.</u>	6
<u>2.1 Objetivos</u>	6
<u>2.2 Introducción</u>	6
<u>2.3 Descripción del equipo de ensayo Sys-DMA:</u>	13
2.3.1 Funcionamiento	13
2.3.2 Sondas del equipo	13
2.3.3 Pruebas:	21
<u>2.4 Análisis de datos:</u>	28
<u>2.5 Fiabilidad de los diferentes grupos de motores. Clasificación.</u>	38
a) Reutilizados:	38
b) Motores enviados a Madrid para “Reparación General”	40
<u>2.6 Correlaciones entre las averías y los datos de los ensayos.</u>	45
<u>2.7 Criterios de aceptación.</u>	47
<u>2.8 Conclusiones.</u>	51
<u>3. Adaptación a la Serie 599</u>	54
<u>3.1 Objetivos</u>	54
<u>3.2 Introducción</u>	54
<u>3.3 Colocación de sondas</u>	58
<u>3.4 Realización de las pruebas:</u>	68
a) Prueba compresión relativa S/599:	69
b) Prueba aceleración:	73
c) Prueba de presiones	75
<u>3.5 Valores de referencia:</u>	75
<u>3.6 Conclusiones:</u>	76
<u>Bibliografía</u>	77



1 Antecedentes del trabajo fin de grado.

Los motores diesel de los trenes de media distancia se llevan analizando con un equipo de ensayo en la BMI de Valladolid desde hace aproximadamente 18 años. Desde el departamento de ingeniería surge la idea de conocer si las decisiones que se toman a partir de los valores de los ensayos a los motores son correctas o no. Se propone un estudio de fiabilidad de los diferentes grupos de motores, los enviados para reparación a BMI-Madrid y los reutilizados (motores que se vuelven a montar en el tren tras hacer un mantenimiento preventivo)

El estudio de fiabilidad debería reflejar kilómetros recorridos desde el ensayo ó reparación hasta la siguiente avería, cantidad de motores averiados desde ensayo ó reparación, averías frecuentes...etc. También debería reflejar los valores de las variables de los motores reutilizados comparados con los criterios de validación recientemente implantados. Además sería conveniente reflejar las posibles correlaciones entre los datos de los ensayos y las posteriores averías detectadas.

Durante el desarrollo de este proyecto surge la idea de una posible adaptación del equipo a la nueva serie de trenes diesel de media distancia, la serie 599 debido a que el equipo solamente está adaptado a las series 592, 594 y 598 para motores MAN y serie 596 para motores FIAT. Así se tendría a disposición una herramienta capaz de arrojar cierta luz sobre el estado del motor sin realizar el desmontaje del motor y que además, permitiría tomar decisiones de si se envía a reparar el motor ó si por el contrario puede ser reutilizado.



2. Evaluación del mantenimiento predictivo de los motores diesel de media distancia.

2.1 Objetivos

- Partiendo del histórico de datos de los resultados de los ensayos con el equipo Sys-DMA y las fichas de seguimiento de las piezas de parque, clasificar los motores en dos grupos:

Motores reutilizados: Aquellos que cumplirían los criterios de aceptación recientemente implantados. Se vuelven a montar tras hacerle un mantenimiento muy básico.

Motores con reparación general montados por BMI-Madrid.

- Realizar un estudio comparativo que permita conocer la fiabilidad de ambos grupos (kilómetros recorridos desde el montaje en R hasta la posterior avería)
- En los casos de motores averiados, ver si existe correlación de los parámetros de los ensayos con la posterior avería.
- Validación de los criterios de aceptación recientemente definidos.

2.2 Introducción

Básicamente el funcionamiento del motor de combustión interna consiste en llevar una masa de aire y combustible a unas condiciones de presión y temperatura que permitan la combustión, ya sea por compresión o por encendido provocado. En lo que sigue nos referiremos solamente a motores de encendido por compresión ó diesel.

La aportación de energía se realiza exteriormente durante un breve periodo de tiempo a través del motor de arranque. Éste pone en movimiento al cigüeñal provocando el inicio del ciclo diesel. La estructura del cigüeñal y la biela define la excentricidad necesaria para completar cada vuelta con dos



desplazamientos lineales ó carreras del pistón en el interior del cilindro, desde el punto muerto superior (PMS) al punto muerto inferior (PMI). El ciclo de motor diesel de cuatro tiempos se completa con dos vueltas de cigüeñal y cuatro tiempos o carreras de pistón (admisión, compresión, expansión y escape).

El movimiento relativo entre las superficies de los elementos crea un incremento de temperatura debido al rozamiento que es necesario mantener dentro de unos valores determinados para alargar la vida del motor. Para ello existen conductos interiores en los elementos por donde circulan aceite y líquido refrigerante (sin mezclarse).

El tren diesel completo, en general, consta de tres coches, dos coches motores en los extremos y un coche remolque intermedio.



Imagen 2.2.1 - Serie 592



Normalmente el coche se divide en dos partes, bogie (conjunto formado por frenos, suspensiones, ruedas ejes, y reductoras(ver figura 2.2.2)



Imagen 2.2.2 - Bogie 598

y sobre éste apoya la otra parte llamada caja.



Imagen 2.2.3 - Caja 598



A su vez la caja se divide en tres zonas, bajo bastidor, interior caja y cubierta. Los coches motores M1 y M2 tienen dos motores y dos turbo transmisiones cada uno situados bajo bastidor, denominadas LC (lado cabina) y LOC (lado opuesto cabina). EL motor A ó motor 1 es el del lado cabina y el B ó 2 el lado opuesto cabina. En todo momento los cuatro motores contribuyen a la tracción del tren, excepto en los casos que exista avería en alguno de ellos. Con esto se pasará a anular dicho motor y continuar con los otros tres motores en servicio.

Además el coche R lleva uno ó dos motores auxiliares (dependiendo de la serie) con un alternador para la producción de energía eléctrica del tren. En el caso de que lleve dos nunca funcionan de manera simultánea, según las horas de funcionamiento de cada motor, el software del tren determina cual arranca la próxima vez.

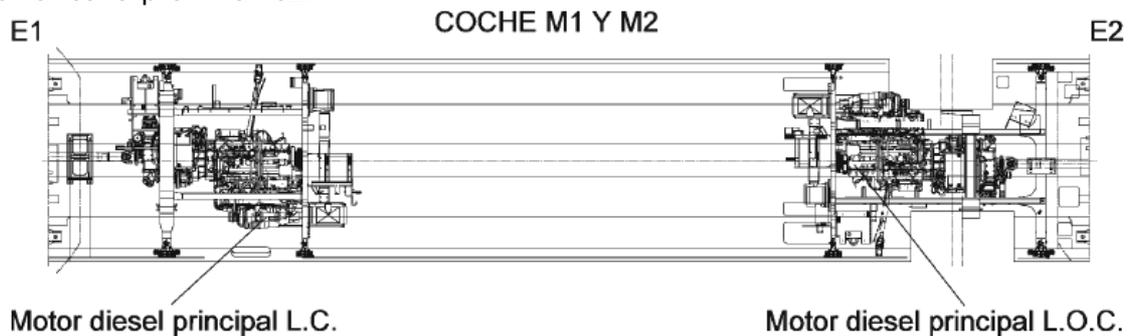


Imagen 2.2.4 - Ubicación motores unidad diesel



En cuanto a la serie que será objeto de estudio, S/592 compuesta por 70 trenes en un principio llevaba motores MAN, en un principio en 1978 montaban motores D 3256 BTXUE, que más tarde se reemplazaron por motores mas modernos D 2866 LUE 601 para motores de tracción y D 2866 TUE para motores de grupo (auxiliares). Los motores de tracción son los encargados del movimiento del tren y producción de aire comprimido y los motores de grupo ó auxiliares son los encargados de la producción de electricidad necesaria para todo el tren.



Imagen 2.2.5 - Serie 592



La siguiente generación S/594 fue equipada con motores MAN D 2866 LUE 602 de 300kw a 2100 rpm. Este modelo solamente llevaba dos coches motores, sin coche R intermedio.



Imagen 1.2.6 - Serie 594

La S/598 también fue equipada con motores MAN, en este caso cuatro motores de tracción D 2876 LUE 605 de 338 kw a 2000rpm y dos de grupo D 2866 de 230kw a 1500rpm.



Imagen 2.2.7 - Serie 598



Los automotores más modernos correspondientes a la serie 599 también están equipados con motores MAN, en este caso el modelo D 2876 LUE 623 de 382 kw a 2000rpm, motores “common-rail” que cumplen la normativa de emisiones IIIa. Con esta potencia el tren alcanza 160km/h de velocidad máxima.



Imagen 2.2.8 - Serie 599

La evaluación del mantenimiento predictivo será sobre el tipo de motor MAN D 2866 LUE 601 de tracción de la serie 592, que pueden ser motores con la bomba de inyección calada a 230kw ó 210kw, dependiendo de la modalidad en que se monte.



2.3 Descripción del equipo de ensayo Sys-DMA:

El equipo permite realizar una serie de ensayos para determinar el estado de motores diesel sin desmontar ningún componente. Esto es fundamental ya que el motor se ensaya montado en el tren y podemos tener una idea de cual es su estado y si es necesario desmontarlo o no.

El equipo toma datos del motor directamente, mediante un conjunto de sensores, no obtiene en ningún momento datos de la centralita del motor (EDC).

Actualmente está adaptado para las series S/592, S/594 y S/598 que montan motores MAN y la serie S/596 que monta motores FIAT. El equipo se encuentra dentro de un pupitre que incluye ordenador, impresora, monitor y la electrónica correspondiente para procesar las señales de los sensores.

2.3.1 Funcionamiento

El equipo dispone de una serie de sondas que mediante la conexión ó montaje al motor en un extremo y al pupitre en el extremo opuesto es capaz de medir ciertos parámetros del motor. La tarjeta electrónica recibe la señal y la envía al PC. Además un software realiza ciertos cálculos y presenta los resultados por la pantalla. En todo momento el software nos guía para realizar las pruebas mediante fotos e instrucciones y poder así realizar las pruebas correctamente.

La alimentación se realiza por medio de una manguera de 10m que lleva un enchufe convencional a la red 220v y 50Hz.

2.3.2 Sondass del equipo

Las sondas del equipo se conectan de tal forma que en ningún momento interfieran con el funcionamiento natural del motor. Toman datos directamente del motor, en ningún caso de la centralita.



a) **Sensor temperatura:** Mide la temperatura a la que se encuentra el motor. No es necesaria una medida precisa sino simplemente indicativa de que las pruebas se realizan con el motor a temperatura correcta. Para facilitar su colocación se atornilla sobre uno de los taladros roscados del cárter.



Imagen 2.3.2.1 - Sensor de temperatura

b) **Sonda de efecto hall:** Se utiliza para captar el paso de los dientes del volante de inercia y determinar así el régimen de giro del motor. Deberá estar entre 0,5-1mm de distancia del paso de los dientes pero sin llegar a tocar para no deteriorar el sensor. Lleva un adaptador específico para los motores a ensayar.



Imagen 2.3.2.2 – Sonda efecto hall



c) Pinzas piezoeléctricas para tuberías de inyección: Indican la duración y el momento de la inyección frente al PMS. El tramo de tubería donde se coloca la pinza ha de estar libre de pintura y suciedad. Es conveniente colocarlas en tramos rectos lejos de codos para evitar rebotes de la onda de presión y que la señal esté más limpia de ruidos.



Imagen 2.3.2.3 – Pinzas de inyección

Si no está previsto realizar la prueba de inyección, se puede colocar solamente la pinza del cilindro 1 para identificar a partir de este y con el orden de encendido cuál es cada uno en la prueba de aportación de cada cilindro y compresión relativa.



Imagen 2.3.2.4 – Pinza inyección cilindro 1



En la serie 598 las tuberías de inyección no están accesibles, por lo tanto necesitamos un sensor auxiliar. Existe un sensor de levantamiento de aguja que da la señal de cuándo se realiza la inyección en el cilindro 1, se podrá conectar a ese sensor un adaptador específico para poder identificar el cilindro 1.



Imagen 2.3.2.5 – Sensor levantamiento aguja



d) Transductor de tensión: Para la medida de la tensión de las baterías el equipo dispone de un transductor de tensión con un cable dotado de unas pinzas de cocodrilo. El lugar más cómodo para la colocación es en los bornes del motor de arranque.



Imagen 2.3.2.6 – Transductor de tensión.



e) **Pinza amperimétrica:** Principalmente utilizada para medir la intensidad del motor de arranque. Para ello se ha de colocar en el cable positivo del motor de arranque.



Imagen 2.3.2.7 – Pinza amperimétrica.

f) **Sensor de presión del cárter:** Se utiliza para la medida de la presión en el cárter del motor. Viene dotado de un tubo de teflón para la colocación a través del orificio de la varilla indicadora del nivel de aceite. El rango de medida es (± 0.07 bar)



Imagen 2.3.2.8 – Sensor presión cárter.



g) Sensor presión aceite: Para la medida de la presión del aceite del motor el equipo viene dotado con un sensor y diferentes adaptadores para distintos motores.



Imagen 2.3.2.9 – Sensor presión aceite.



h) **Sensor presión aire admisión:** Disponemos de un sensor y diferentes adaptadores para los distintos motores.



Imagen 2.3.2.10 – Sensor presión aire admisión.

i) **Cámara opacidad:** Al equipo se le puede conectar una cámara de opacidad que se utiliza para medir la opacidad de los gases de escape. Esta cámara necesita alimentación de 220v.



Imagen 2.3.2.11 – Cámara opacidad.

Para recoger los gases del motor se utiliza una manguera que se introduce en el tubo de escape.



2.3.3 Pruebas:

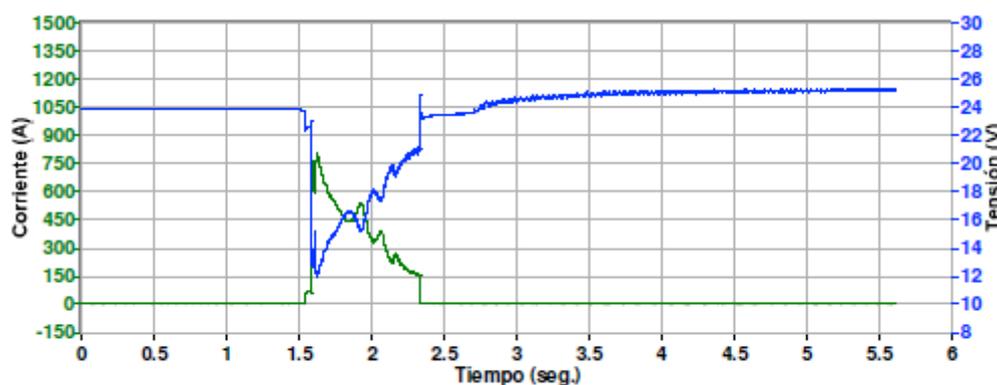
A continuación se describe la ejecución de las pruebas y las variables medidas en cada una. Han de realizarse con el motor caliente, temperatura mínima 40° Celsius y se han ordenado de tal forma que las que requieren mayor temperatura estén al final.

a) Prueba de arranque y batería: En esta prueba se mide la tensión de las baterías y la intensidad en el motor de arranque durante el proceso de arranque del motor diesel.

Las variables medidas son: temperatura del motor, tensión inicial de las baterías, impedancia de baterías, intensidad máxima, tensión mínima, resistencia del motor de arranque, potencia del motor de arranque y tensión final en el alternador.

Hay que tener en cuenta que un motor frío es mas difícil de voltear que uno caliente. Una tensión baja de las baterías puede condicionar la prueba a hacer girar más lentamente el motor de arranque.

Las curvas deben tener un aspecto simétrico, un ejemplo en un motor de la S/592:



VARIABLE	MEDIDO	MIN	MAX
Temperatura prueba de arranque (°C)	35	20	85
Intensidad máxima arranque (A)	807	650	1100
Potencia máxima motor de arranque (kW)	10	9	14
Resistencia motor de arranque (mOhm)	15	12	22
Tensión mínima (V)	12	11	16
Impedancia de batería (mOhm)	15	12	20
Tensión Inicial batería (V)	23.9	23	29
Tensión final alternador (V)	25.2	25	30

Imagen 2.3.3.1 – Prueba arranque y batería.



b) Prueba de estabilidad del ralentí: La prueba consiste en medir el régimen de giro del motor al ralentí durante 32 ciclos, es decir 64 vueltas del cigüeñal. En cada ciclo se mide el régimen medio, máximo y mínimo. En la prueba se mide también la temperatura del motor.

Si el ralentí varía mucho debemos repetir la prueba asegurándonos que no se ha puesto en marcha ningún elemento auxiliar como el compresor de producción de aire.

Se debería esperar a que en los depósitos de aire comprimido se alcance la presión máxima. Así el aire producido por el compresor sería expulsado directamente por las válvulas de seguridad al exterior.

Un ejemplo:

VARIABLE	MEDIDO	MIN	MÁX
Temperatura prueba estabilidad ralentí (°C)	34	40	85
Régimen medio ralentí (rpm)	590	580	690
Porcentaje variación régimen (%)	0.3	0	1

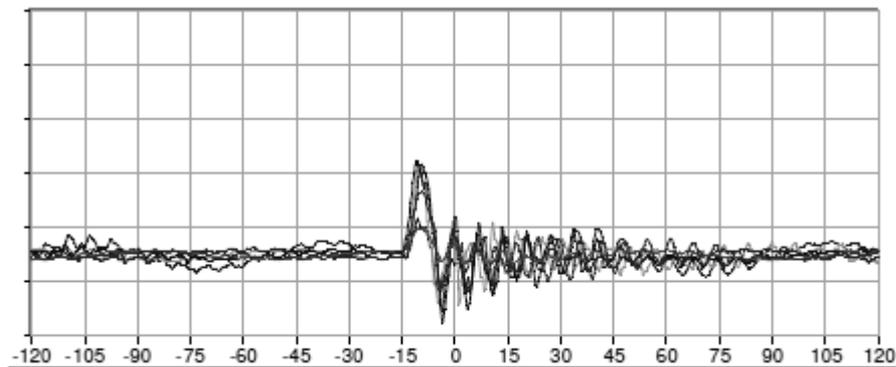
Imagen 2.3.3.2 – Prueba estabilidad ralentí.



c) Prueba de inyección: En esta prueba se miden las señales que emiten las pinzas piezoeléctricas para las tuberías de inyección. Captan las dilataciones que se producen en las tuberías de inyección como consecuencia del aumento de presión al inyectar combustible. Hay dos parámetros que se calculan automáticamente para simplificar el análisis, avance de la inyección y duración del pulso.

Las variables medidas son: temperatura de la prueba, grados de avance de inyección y grados de duración del pulso de inyección.

Durante las pruebas las pinzas pueden soltarse debido a las vibraciones del motor, si hay algún dato anómalo deberíamos comprobar la colocación y el apriete y repetir la prueba.

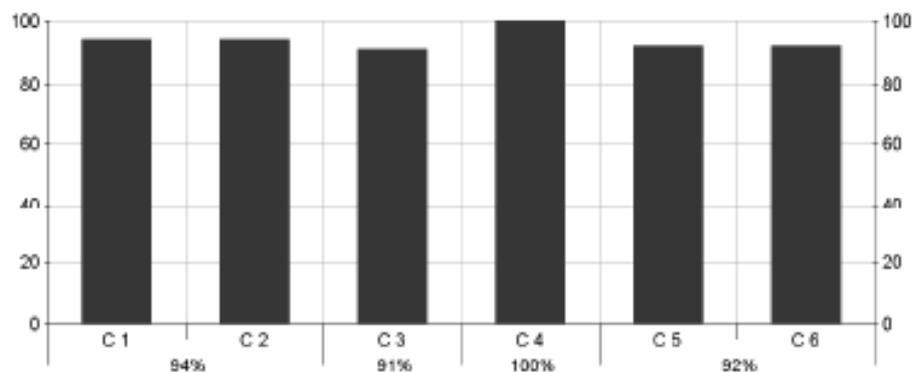


VARIABLE	MEDIDO	MIN	MAX
Temperatura prueba inyección (°C)	35	40	85
Grados avance inyección. Cilindro 1	11.8	10	15
Grados avance inyección. Cilindro 2	12.6	10	15
Grados avance inyección. Cilindro 3	12.3	10	15
Grados avance inyección. Cilindro 4	13.6	10	15
Grados avance inyección. Cilindro 5	14.2	10	15
Grados avance inyección. Cilindro 6	13.2	10	15
Grados duración pulso inyección. Cilindro 1	7.8	5	9
Grados duración pulso inyección. Cilindro 2	5.7	5	9
Grados duración pulso inyección. Cilindro 3	7.1	5	9
Grados duración pulso inyección. Cilindro 4	7.8	5	9
Grados duración pulso inyección. Cilindro 5	9.2	5	9
Grados duración pulso inyección. Cilindro 6	7.8	5	9

Imagen 2.3.3.3 – Prueba inyección.



d) Prueba de aportación de cada cilindro: Esta prueba mide las variaciones de régimen durante el funcionamiento del motor y asocia estas variaciones a los procesos de compresión y combustión de cada cilindro. Para esta prueba necesitamos un cilindro de referencia como puede ser el cilindro 1 (el programa tiene en cuenta el orden de encendido) para identificarlo necesitaremos tener colocada la pinza de inyección sobre dicho cilindro. Hay que tener en cuenta que son valores relativos, luego no indica si el motor está en buen estado o no, simplemente la aportación relativa de cada cilindro.

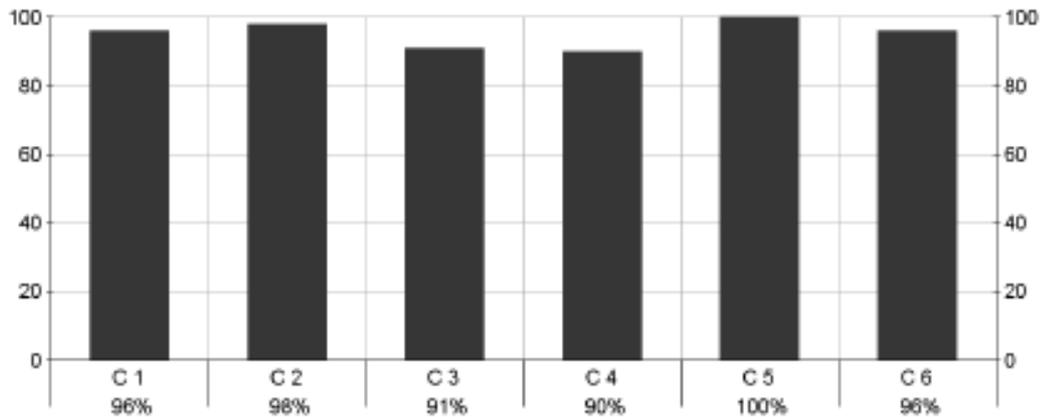


VARIABLE	MEDIDO	MIN	MAX
Temperatura prueba aportación (°C)	29	40	85
Análisis régimen. Aportación % Cilindro 1	94	82	100
Análisis régimen. Aportación % Cilindro 2	94	82	100
Análisis régimen. Aportación % Cilindro 3	91	82	100
Análisis régimen. Aportación % Cilindro 4	100	82	100
Análisis régimen. Aportación % Cilindro 5	92	82	100
Análisis régimen. Aportación % Cilindro 6	92	82	100

Imagen 2.3.3.4 – Prueba aportación de cada cilindro.



e) **Prueba de compresión relativa:** Se mide la diferencia de régimen al voltear el motor cuando cada cilindro realiza el proceso de compresión y expansión sin inyección de combustible. Al final de la prueba se necesita que el motor arranque para identificar los cilindros a través de la pinza de inyección del cilindro 1.



VARIABLE	MEDIDO	MIN	MAX
Temperatura prueba compresión (°C)	31	40	85
Compresión. Contribución % Cilindro 1	96	92	100
Compresión. Contribución % Cilindro 2	98	92	100
Compresión. Contribución % Cilindro 3	91	92	100
Compresión. Contribución % Cilindro 4	90	92	100
Compresión. Contribución % Cilindro 5	100	92	100
Compresión. Contribución % Cilindro 6	96	92	100
Régimen medio durante el arranque (rpm)	205	170	250

Imagen 2.3.3.5 – Prueba compresión relativa.



f) **Prueba de potencia por aceleración libre:** Consiste en acelerar el motor en vacío desde el régimen al ralentí hasta las máximas revoluciones. El motor tiene que vencer las pérdidas mecánicas y su propia inercia junto con los accesorios conectados. El parámetro que se mide es la aceleración angular del cigüeñal para calcular junto con la inercia del motor los valores de potencia y par. En los 592 y 594 la bomba de inyección reacciona de forma inmediata a la solicitud de aceleración no siendo así en la serie 598 donde interviene la EDC para limitar emisiones. Las pérdidas mecánicas se miden en el proceso de deceleración, con lo que es importante el cambio del mando de aceleración pase de máximas revoluciones a mínimas lo más repentinamente posible.

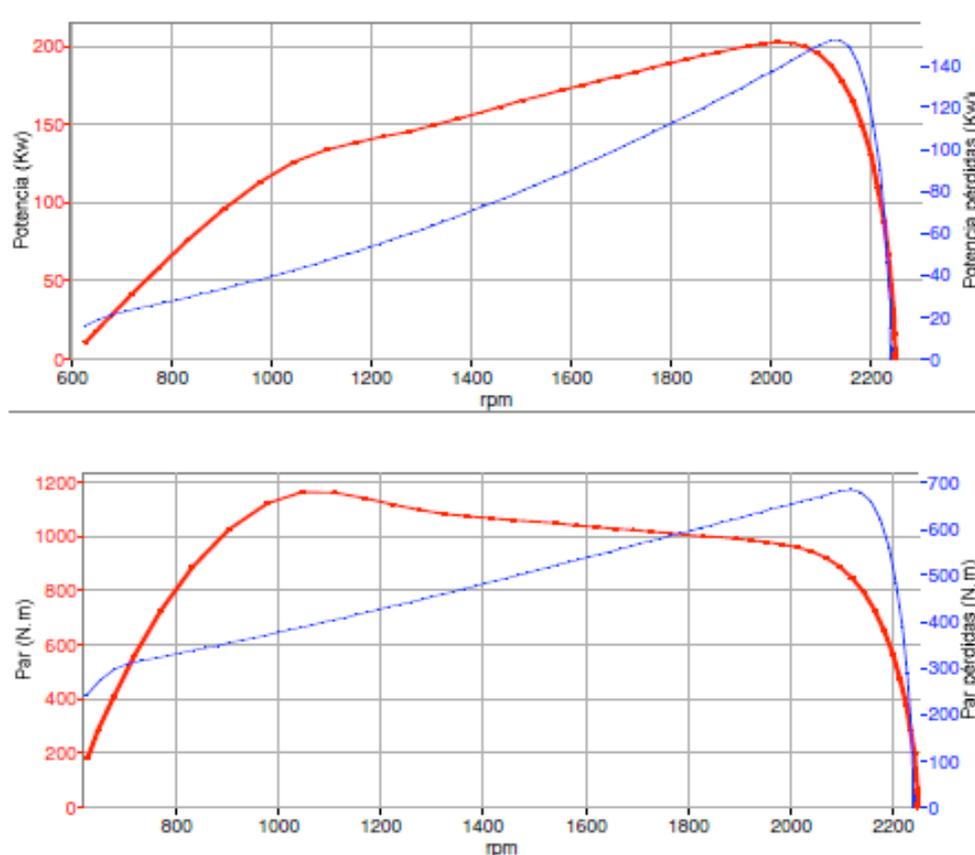
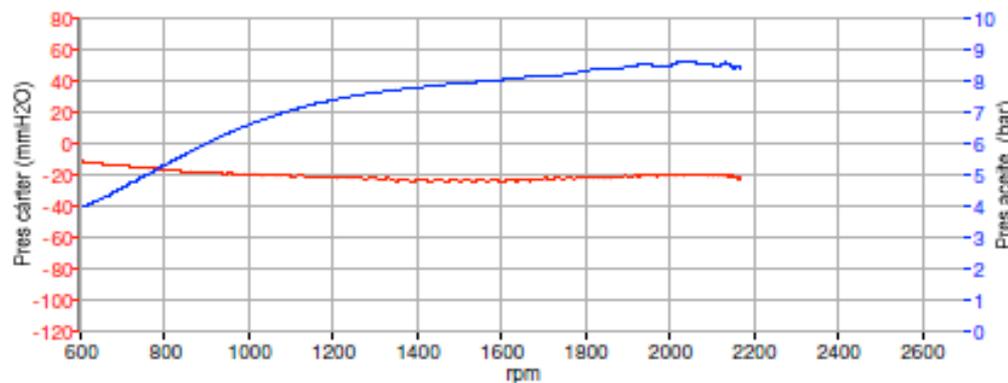


Imagen 2.3.3.6 – Prueba potencia.



g) Prueba de presiones: En esta prueba se toman medidas de la presión del cárter, la presión del aceite y la presión del turbo al pasar el motor de sus mínimas revoluciones a máximas.



VARIABLE	MEDIDO	MIN	MAX
Temperatura prueba presiones (°C)	36	45	85
Máxima Presión Cárter (mmH2O)	-11	-10	5
Régimen Máxima Presión Cárter (rpm)	602	550	800
Mínima Presión Cárter (mmH2O)	-23.38	-30	-5
Régimen Mínima Presión Cárter (rpm)	1531	2000	2350
Mínima Presión Aceite (bar)	4.05	3	6
Régimen Mínima Presión Aceite (rpm)	602	550	800
Máxima Presión Aceite (bar)	8.68	5	9
Régimen Máxima Presión Aceite (rpm)	2038	2000	2350
Máxima Presión Turbo (bar)	0.12	0.3	0.6
Régimen Máxima Presión Turbo (rpm)	2165	2000	2350

Imagen 2.3.3.7 – Prueba presiones.

h) Prueba de opacidad: Consiste en acelerar el motor de mínimas revoluciones a máximas manteniéndolo unos instantes a régimen máximo.

La opacidad máxima se produce cuando se produce una demanda de potencia repentina al motor, el sistema de inyección proporciona una mayor cantidad de combustible pero el turbocompresor no consigue suministrar todo el aire necesario para quemar por completo esa cantidad.



2.4 Análisis de datos:

El programa devuelve el informe en dos formatos diferentes, el formato *.doc que refleja los gráficos de los ensayos ó un archivo *.txt en el que simplemente se reflejan los nombres de las variables y su valor.

Este tipo de informe es más moderno y no todos los ensayos tienen este tipo de informe, sin embargo, todos reflejan las variables en un archivo de texto. Así, utilizaremos el formato *.txt y lo transformaremos en un Excel.

El formato es un archivo de texto con el nombre "NUMEROMOTOR_FECHAENSAYO.txt" que incluye en la cabecera número de motor, fecha, tipo de motor, configuración y a continuación los valores de las variables medidas en las pruebas realizadas.



Un ejemplo:

```
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
Vehículo=592-060
Coche=0-592-120
Nº_motor=7897111
Posición=2
Dependencia=TCR VALLADOLID
Fecha=19/04/12 09:29:34
Configuración: 592_Man_230.cnf

Temperatura_prueba_arranque_(°C)=56
Tensión_Inicial_Arranque_(V)=25.3
Intensidad_Máxima_Arranque_(A)=736
Tensión_Minima_Arranque_(V)=12.5
Potencia_Máxima_Arranque_(w)=9287
Resistencia_de_Arranque_(Ohmios)=0.017
Impedancia_de_Batería_(Ohmios)=0.017
Intensidad_Minima_Arranque_(A)=-6
Tensión_Final_Arranque_(V)=27.7
Temperatura_prueba_potencia_(°C)=62
Presión_aceite_prueba_potencia_(kg/cm2)=-
Inercia=9.68
Potencia_efectiva_máxima_(kw)=249
Régimen_Pe-max_(rpm)=2083
Potencia_de_perdidas_mecánicas_máximo_(kw)=131
Régimen_Ppm-max_(kw)=2185
Par_máximo_(Nm)=1345
Régimen_par_máximo_(rpm)=1126
Par_de_perdidas_mecánicas_máximo_(Nm)=-578
Régimen_Ppm-max_(rpm)=2169
Potencia_nominal_(kw)=230
Régimen potencia nominal_(rpm)=2100
Par_nominal_(Nm)=1300
Régimen_par_nominal_(rpm)=1200
Régimen_máximo_prueba_potencia_(rpm)=2325
Régimen_minimo_prueba_potencia_(rpm)=595
Temperatura_prueba_compresion_relativa_régimen_(°C)=60
%_cilindro_1_régimen=97
%_cilindro_2_régimen=99
%_cilindro_3_régimen=98
%_cilindro_4_régimen=98
%_cilindro_5_régimen=99
%_cilindro_6_régimen=100
Régimen_medio_durante_el arranque=211
Tensión_después_de_voltgear_prueba_régimen_(V)=25.3
Temperatura_prueba_estabilidad_al_ra_lenti_(°C)=43
Régimen_medio_ra_lenti_(rpm)=565
Régimen_máximo_ra_lenti_(rpm)=566
Régimen_minimo_ra_lenti_(rpm)=563
Temperatura_prueba_régimen_instantaneo_(°C)=37
%_cilindro_1_régimen_instantaneo=94
%_cilindro_2_régimen_instantaneo=93
%_cilindro_3_régimen_instantaneo=94
%_cilindro_4_régimen_instantaneo=98
%_cilindro_5_régimen_instantaneo=100
%_cilindro_6_régimen_instantaneo=97
Temperatura_prueba_presión_inyección_(°C)=38
%_Avance_cilindro_1=9.8
%_Duración_cilindro_1=5.7
%_Avance_cilindro_2=10.9
%_Duración_cilindro_2=6.4
%_Avance_cilindro_3=10.3
%_Duración_cilindro_3=6.8
%_Avance_cilindro_4=11.0
%_Duración_cilindro_4=7.1
%_Avance_cilindro_5=10.9
%_Duración_cilindro_5=7.4
%_Avance_cilindro_6=10.7
%_Duración_cilindro_6=5.7

Archivo Edición Formato Ver Ayuda
Vehículo=592-039
Coche=9-592-053
Nº_motor=0000001
Posición=1
Dependencia=TCR VALLADOLID
Fecha=22/06/10 12:13:59
Configuración: 592_Man_230.cnf

Temperatura_prueba_arranque_(°C)=53
Tensión_Inicial_Arranque_(V)=25.0
Intensidad_Máxima_Arranque_(A)=194
Tensión_Minima_Arranque_(V)=14.2
Potencia_Máxima_Arranque_(w)=2776
Resistencia_de_Arranque_(Ohmios)=0.074
Impedancia_de_Batería_(Ohmios)=0.056
Intensidad_Minima_Arranque_(A)=-9
Tensión_Final_Arranque_(V)=26.0
Temperatura_prueba_estabilidad_al_ra_lenti_(°C)=66
Régimen_medio_ra_lenti_(rpm)=514
Régimen_máximo_ra_lenti_(rpm)=515
Régimen_minimo_ra_lenti_(rpm)=513
Temperatura_prueba_régimen_instantaneo_(°C)=54
Temperatura_prueba_presión_inyección_(°C)=62
%_Avance_cilindro_1=3.1
%_Duración_cilindro_1=6.7
%_Avance_cilindro_2=4.2
%_Duración_cilindro_2=7.1
%_Avance_cilindro_3=2.4
%_Duración_cilindro_3=7.1
%_Avance_cilindro_4=3.0
%_Duración_cilindro_4=8.3
%_Avance_cilindro_5=3.1
%_Duración_cilindro_5=7.4
%_Avance_cilindro_6=4.1
%_Duración_cilindro_6=7.0
%_Avance_cilindro_7=0.0
%_Duración_cilindro_7=0.0
```

Imagen 2.4.1 – Archivo txt.

Los archivos *.txt no son regulares, su tamaño depende de la cantidad de pruebas realizadas y variables medidas durante el ensayo, no a todos los motores se les hace las mismas pruebas, depende del tipo de revisión y de los parámetros que necesitemos en el momento de la prueba.

Por ello necesitamos acondicionar los datos de manera automática dado que hay 150 informes de motores e ir uno por uno puede ser un proceso largo y tedioso. Para ello utilizaremos la aplicación Excel que también nos servirá para después analizar y estudiar los datos.



La primera hoja de nuestro libro será en la que importaremos todos los archivos de texto correspondientes a los motores. Podemos hacer que Excel nos coloque en cada columna un archivo de texto con todas las variables.

	D	E
1	Vehículo=1-204	Vehículo=1-204
2	Coche=7-592-204	Coche=7-592-204
3	Nº_motor=06041524	Nº_motor=6041524
4	Posición=1	Posición=1
5	Dependencia="TCR VALLADOLID"	Dependencia="TCR VALLADOLID"
6	Fecha=28/06/05	Fecha=28/06/05
7	Configuración: BUSSING.cnf	Configuración: BUSSING.cnf
8		
9	Temperatura_prueba_arranque_(°C)=58	Temperatura_prueba_arranque_(°C)=62
10	Intensidad_Mínima_Arranque_(A)=-17	Intensidad_Mínima_Arranque_(A)=-15
11	Tensión_Mínima_Arranque_(V)=-27.4	Tensión_Mínima_Arranque_(V)=-25.6
12	Intensidad_Máxima_Arranque_(A)=835	Intensidad_Máxima_Arranque_(A)=789
13	Potencia_Máxima_Arranque_(W)=462	Potencia_Máxima_Arranque_(W)=366
14	Resistencia_de_Arranque_(Ohmios)=-0.0328	Resistencia_de_Arranque_(Ohmios)=-0.0324
15	Tensión_Inicial_Arranque_(V)=-26.0	Tensión_Inicial_Arranque_(V)=-23.9
16	Impedancia_de_Batería_(Ohmios)=0.0017	Impedancia_de_Batería_(Ohmios)=0.0022
17	Temperatura_prueba_potencia_(°C)=58	Temperatura_prueba_estabilidad_al_ralenti_(°C)=64
18	Presión_aceite_prueba_potencia_(kg/cm2)=2.46	Régimen_medio_ralenti_(rpm)=1008
19	Inercia=8.20	Régimen_máximo_ralenti_(rpm)=1010
20	Potencia_efectiva_máxima_(Kw)=141	Régimen_mínimo_ralenti_(rpm)=1006
21	Régimen_Pe-max_(rpm)=1660	
22	Potencia_de_perdidas_mecánicas_máximo_(Kw)=53	
23	Régimen_Ppm-max_(Kw)=1748	
24	Par_máximo_(Nm)=837	
25	Régimen_par_máximo_(rpm)=1354	
26	Par_régimen_nominal_de_par_máximo_(Nm)=832	
27	Par_de_perdidas_mecánicas_máximo_(Nm)=-288	
28	Régimen_Mpm-max_(rpm)=1748	
29	Potencia_nominal_(Kw)=235	
30	Régimen potencia nominal_(rpm)=2200	
31	Par_nominal_(Nm)=913	
32	Régimen_par_nominal_(rpm)=1400	
33	Régimen_máximo_prueba_potencia_(rpm)=1832	
34	Régimen_mínimo_prueba_potencia_(rpm)=994	
35	Temperatura_prueba_estabilidad_al_ralenti_(°C)=59	
36	Régimen_medio_ralenti_(rpm)=1018	
37	Régimen_máximo_ralenti_(rpm)=1021	
38	Régimen_mínimo_ralenti_(rpm)=1016	
39	Temperatura_prueba_tensión_encendido_(°C)=65	
40	¼_Avance_cilindro_1=151.8	
41	¼_Duración_cilindro_1=11.0	
42	¼_Avance_cilindro_2=155.3	
43	¼_Duración_cilindro_2=12.4	
44	¼_Avance_cilindro_3=152.2	
45	¼_Duración_cilindro_3=15.6	
46	¼_Avance_cilindro_4=155.2	
47	¼_Duración_cilindro_4=12.7	
48	¼_Avance_cilindro_5=151.6	
49	¼_Duración_cilindro_5=11.5	
50	¼_Avance_cilindro_6=152.4	
51	¼_Duración_cilindro_6=12.7	
52		

Imagen 2.4.2 – Archivo Excel sin ordenar.



Para facilitar el trabajo se organizarán los datos por filas de tal forma que en cada fila siempre tengamos la misma variable, N°motor, avance del cilindro “i”, potencia nominal...etc

Para ello en la hoja siguiente creamos un acondicionador de datos basado en la fórmula “BUSCARV”, que busca un valor en la primera columna de una tabla y devuelve un valor en la misma fila, incluyendo un condicional para que no devuelva error si no encuentra nada. Como ejemplo:

```
=SI(ESERROR(BUSCARV("Variable_a_buscar*";'Importar  
txt'!D:D;1;FALSO));"";BUSCARV("Variable_a_buscar*";'Importar  
txt'!D:D;1;FALSO))
```

A esta fórmula deberemos cambiarle el campo “Variable a buscar” por cada una de las 82 variables distintas de los ensayos.

El resultado unos datos ordenados con la misma variable en todas las filas.



	A	B
1		
2	Vehículo=	Vehículo=592-059
3	Coche=	Coche=7-592-059
4	Nº_motor=	Nº_motor=060.....
5	Posición=	Posición=1
6	Dependencia=	Dependencia="TCR VALLADOLID"
7	Fecha=	Fecha=22/12/04
8	Configuración:	Configuración: bussing-1500.cnf
9		
10	Temperatura_prueba_arranque>(*C)=	Temperatura_prueba_arranque(*C)=76
11	Tensión_Inicial_Arranque(V)=	Tensión_Inicial_Arranque(V)=27.4
12	Intensidad_Máxima_Arranque(A)=	Intensidad_Máxima_Arranque(A)=7
13	Tensión_Mínima_Arranque(V)=	Tensión_Mínima_Arranque(V)=14.1
14	Potencia_Máxima_Arranque(W)=	Potencia_Máxima_Arranque(W)=190
15	Resistencia_de_Arranque(Ohmios)=	Resistencia_de_Arranque(Ohmios)=2.0143
16	Impedancia de Batería(Ohmios)=	Impedancia de Batería(Ohmios)=1.9000
17	Intensidad_Mínima_Arranque(A)=	Intensidad_Mínima_Arranque(A)=-686
18	Tensión_Final_Arranque(V)=	
19		
20	Temperatura_prueba_presiones(*C)=28	
21	Máxima_Presión_Aceite(kg/cm2)=--	
22	Régimen_Máxima_Presión_Aceite=--	
23	Mínima_Presión_Aceite(kg/cm2)=--	
24	Régimen_Mínima_Presión_Aceite=--	
25	Máxima_Presión_Cárter(mbar)=0.74	
26	Régimen_Máxima_Presión_Cárter=2481	
27	Mínima_Presión_Cárter(mbar)=-0.50	
28	Régimen_Mínima_Presión_Cárter=1195	
29		
30	Temperatura_prueba_potencia(*C)=	Temperatura_prueba_potencia(*C)=46
31	Presión_aceite_prueba_potencia(kg/cm2)=	Presión_aceite_prueba_potencia(kg/cm2)=--
32	Inercia=	Inercia=8.20
33	Potencia_efectiva_máxima(Kw)=	Potencia_efectiva_máxima(Kw)=117
34	Régimen_Pe-max(rpm)=	Régimen_Pe-max(rpm)=1128
35	Potencia_de_perdidas_mecánicas_máximo(Kw)=	Potencia_de_perdidas_mecánicas_máximo(Kw)=64
36	Régimen_Ppm-max(Kw)=	Régimen_Ppm-max(Kw)=1356
37	Par_máximo(Nm)=	Par_máximo(Nm)=988
38	Régimen_par_máximo(rpm)=	Régimen_par_máximo(rpm)=1128
39	Par_de_perdidas_mecánicas_máximo(Nm)=	Par_de_perdidas_mecánicas_máximo(Nm)=-452
40	Régimen_Mpm-max(rpm)=	Régimen_Mpm-max(rpm)=1356
41	Potencia_nominal(Kw)=	Potencia_nominal(Kw)=140
42	Régimen potencia nominal(rpm)=	Régimen potencia nominal(rpm)=1500
43	Par_nominal(Nm)=	Par_nominal(Nm)=910
44	Régimen_par_nominal(rpm)=	Régimen_par_nominal(rpm)=1300
45	Régimen_máximo_prueba_potencia(rpm)=	Régimen_máximo_prueba_potencia(rpm)=1494
46	Régimen_mínimo_prueba_potencia(rpm)=	Régimen_mínimo_prueba_potencia(rpm)=880
47	Par_régimen_nominal_de_par_máximo(Nm)=	
48		
49	Temperatura_prueba_compresion_relativa_intensidad(*C)=	Temperatura_prueba_compresion_relativa_intensidad(
50	%_cilindro_1_intensidad=	%_cilindro_1_intensidad=69
51	%_cilindro_2_intensidad=	%_cilindro_2_intensidad=100
52	%_cilindro_3_intensidad=	%_cilindro_3_intensidad=74
53	%_cilindro_4_intensidad=	%_cilindro_4_intensidad=69
54	%_cilindro_5_intensidad=	%_cilindro_5_intensidad=37
55	%_cilindro_6_intensidad=	%_cilindro_6_intensidad=71
56	Intensidad_media_durante_el_arranque(A)=	Intensidad_media_durante_el_arranque(A)=197
57	Tensión_después_de_voltear_prueba_intensidad(V)=	Tensión_después_de_voltear_prueba_intensidad(V)=2

Imagen 2.4.3 – Archivo Excel ordenado.

Para poder hacer un estudio necesitamos que las celdas tomen valores numéricos, para ello en la siguiente hoja utilizaremos la fórmula "REEMPLAZAR".



Todos los valores numéricos se sitúan detrás del símbolo =, con lo cual con la fórmula “HALLAR” vemos cual es la posición del signo igual en cada cadena de caracteres.

=HALLAR(“=”;A2;1) devuelve la posición del signo igual.

=REEMPLAZAR(“Celda_hoja_anterior”;1;hallar(“=”;A”;1);“”)

Reemplazamos la cadena de caracteres por un vacío y obtendremos los valores de las variables medidas.

	A	B	C	D
1	Vehículo	592-015	592-034	592-032
2	Coche	9-592-037	9-592-048	9-592-045
3	Nº_motor	7414077	7436066	7825095
4	Posición	2	1	2
5	Dependencia	TCR VALLADOLID	TCR VALLADOLID	TCR VALLADOLID
6	Fecha	20/02/2009 9:45	15/07/2008 17:00	17/07/2008 17:43
7	Configuración	592_Man_210.cnf	592_Man_210.cnf	592_Man_210.cnf
10				
11	Temperatura_prueba_arranque_(°C)	27	53	60
12	Tensión_Inicial_Arranque_(V)	-26.8	27.6	27.4
13	Intensidad_Máxima_Arranque_(A)	680	713	5
14	Tensión_Mínima_Arranque_(V)	-26.8	14.7	15.4
15	Potencia_Máxima_Arranque_(W)	165	10811	140
16	Resistencia_de_Arranque_(Ohmios)	-17	21	4936
17	Impedancia_de_Bateria_(Ohmios)	-22	17	0.205
18	Intensidad_Mínima_Arranque_(A)	-5	7	0
19	Tensión_Final_Arranque_(V)	-26.8	27.4	27.5
20				
21	Temperatura_prueba_presiones_(°C)	28	0	0
22	Máxima_Presión_Aceite_(kg/cm2)	0	0	0
23	Régimen_Máxima_Presión_Aceite	0	0	0
24	Mínima_Presión_Aceite_(kg/cm2)	0	0	0
25	Régimen_Mínima_Presión_Aceite	0	0	0
26	Máxima_Presión_Cárter_(mbar)	0.74	0	0
27	Régimen_Máxima_Presión_Cárter	2481	0	0
28	Mínima_Presión_Cárter_(mbar)	-0.5	0	0
29	Régimen_Mínima_Presión_Cárter	1195	0	0
30				
31	Temperatura_prueba_potencia_(°C)	28	53	59
32	Presión_aceite_prueba_potencia_(kg/cm2)	0	0	0
33	Inercia	8.2	8.2	8.2
34	Potencia_efectiva_máxima_(Kw)	203	160	180
35	Régimen_Pe-max_(rpm)	2043	2035	2058
36	Potencia_de_perdidas_mecánicas_máximo_(Kw)	124	158	120
37	Régimen_Ppm-max_(Kw)	2165	2112	2174
38	Par_máximo_(Nm)	1127	877	988
39	Régimen_par_máximo_(rpm)	1124	1077	1130
40	Par_de_perdidas_mecánicas_máximo_(Nm)	-550	-721	-527
41	Régimen_Mpm-max_(rpm)	2147	2087	2156
42	Potencia_nominal_(Kw)	210	210	210
43	Régimen_potencia_nominal_(rpm)	2100	2100	2100
44	Par_nominal_(Nm)	1200	1200	1200
45	Régimen_par_nominal_(rpm)	1200	1200	1200

Imagen 2.4.4 – Archivo Excel ordenado con valores numéricos.



Recientemente se implantaron unos criterios de aceptación/rechazo, se establecieron límites superiores e inferiores para cada variable medida y poder así decidir si el motor se encuentra en buen estado y puede ser reutilizado ó si por el contrario debe ir a reparar a BMI-Madrid.

Con un formato condicional se han implantado estos límites y se ha dado un relleno de color a la celda para que de un simple vistazo podamos ver qué variables cumplen los criterios y cuáles no.

	A	B	C
1	Vehículo=	592-058	592-056
2	Coche=	9-592-116	9-592-112
3	Nº_motor=	801113	7825096
4	Posición=	2	2
5	Dependencia=	"TCR VALLADOLID"	"TCR VALLADOLID"
6	Fecha=	08/02/2006	15/04/2005
7	Configuración:	MAN_210.cnf	MAN_210.cnf
8			
9	Temperatura_prueba_arranque_(°C)=		65
10	Tensión_Inicial_Arranque_(V)=		25.5
11	Intensidad_Máxima_Arranque_(A)=		823
12	Tensión_Mínima_Arranque_(V)=		-27.2
13	Potencia_Máxima_Arranque_(W)=		125
14	Resistencia_de_Arranque_(Ohmios)=		-0.033
15	Impedancia de Bateria_(Ohmios)=		0.0021
16	Intensidad_Mínima_Arranque_(A)=		-5
17			
18	Temperatura_prueba_potencia_(°C)=	73	64
19	Presión_aceite_prueba_potencia_(kg/cm2)=	0	0
20	Inercia=	8.2	8.2
21	Potencia_efectiva_máxima_(Kw)=	189	189
22	Régimen_Pe-max_(rpm)=	2054	2061
23	Potencia_de_perdidas_mecánicas_máximo_(Kw)=	123	129
24	Régimen_Ppm-max_(Kw)=	2187	2187
25	Par_máximo_(Nm)=	1036	1027
26	Régimen_par_máximo_(rpm)=	918	977
27	Par_de_perdidas_mecánicas_máximo_(Nm)=	-541	-566
28	Régimen_Mpm-max_(rpm)=	2170	2169

Imagen 2.4.5 – Archivo Excel ordenado, con valores numéricos y formato condicional.

Los valores de celdas en verde cumplirían los criterios de aceptación, las celdas en rojo no los cumplirían y las que están sin colorear simplemente no tienen valores límite.

Una vez tenemos estos datos de los motores debemos añadir los datos que provienen de la ficha de seguimiento de la pieza de parque (en este caso el motor) que tenemos en la aplicación de la intranet. La ficha de seguimiento



da información acerca de las revisiones, averías, horas de servicio (kilometraje), y envíos de la pieza entre bases.

Dentro de la serie 592 tenemos tres subseries dentro de la S/592, la MD592T, MD592C y MDL592, las dos primeras montan motores con bomba de inyección calada para 230kw y la tercera 210kw. La aplicación de la intranet clasifica los motores por estas subseries donde van montados, es decir si un motor estuvo montado en la subserie C y luego se pasó a la subserie T, tendrá una ficha de seguimiento por cada serie y tendremos que unificarla para poder hacer su correcto seguimiento.

No se ha encontrado forma de automatizar el proceso y hay que ir ficha por ficha.

Para el análisis creamos una plantilla para rellenar con los datos de cada ensayo:

Número identificación del motor
Estado del motor
Actividad en revisión actual
Actividad en ultima revisión
Avería anterior
Actividad avería anterior
Avería posterior
Actividad avería posterior
Observaciones
Vinculo al libro

Donde:

- Número identificación del motor: Número de serie, único para cada motor.
 - Estado del motor: A efectos prácticos el motor puede estar montado útil (MU), suelo útil (SU) ó suelo inútil (SI) dependiendo de si está subido al tren o no y de si se encuentra en buen o mal estado.
 - Actividad en revisión actual: Número de kilómetros en el momento de la revisión.
 - Actividad en última revisión: Número de kilómetros en el momento de la revisión inmediatamente anterior.
 - Avería anterior: Si el motor ha tenido avería en la última revisión y de que tipo.
 - Avería posterior: Si el motor ha tenido avería en la revisión posterior y de que tipo.
-



- Actividad avería posterior: Número de kilómetros en la siguiente avería.
- Observaciones: Comentarios acerca del motor
- Vínculo al libro: Se establece un vínculo al libro Excel que contiene la ficha de seguimiento de cada motor para poder consultarlo más rápidamente.

El proceso es el siguiente para cada motor:

- Buscar en la aplicación de la intranet la ficha de seguimiento y exportarla a Excel. En caso de que tenga algún cambio de serie y haya varias fichas, unificarla en el mismo archivo Excel y ordenar las acciones por fecha.
- Identificar en el ensayo del Sys-DMA el número de motor y la fecha de realización del ensayo.
- Rellenar la plantilla anterior para cada motor.

Después de analizar las 280 fichas de seguimiento para los 150 motores ensayados en hay veces que no se refleja la entrada del tren ni el ensayo realizado y no hay datos de los kilómetros que tiene el motor en el momento del ensayo. Así la población se queda en 99 ensayos.

De estos motores, 20 han sido reutilizados y 79 han sido enviados a reparar en BMI-Madrid.

Han sido descartados algunos motores ensayados entre 07/2012 y 3/2014 que aún se encuentran en período de servicio; en concreto 6 reutilizados, y 18 de los enviados a reparación en BMI-Madrid.

Evaluación fiabilidad motores S/592. Pruebas Sys-DMA.

Según el plan de mantenimiento para esta serie, recogido en el documento PM 5920.30, existen varios tipos de revisión:

CN-Control de niveles: Kilometraje mínimo 2500km
 Kilometraje medio 3000km
 Kilometraje máximo 3500km

IC-Intervención de control: Kilometraje mínimo 8000km
 Kilometraje medio 9000km
 Kilometraje máximo 10000km

IM1- Intervención nivel 1: Kilometraje mínimo 33000km



Kilometraje medio 36000km
Kilometraje máximo 39000km

IM2-Intervención nivel 2: Kilometraje mínimo 99000km
Kilometraje medio 108000km
Kilometraje máximo 117000km

IM3-Intervención nivel 3: Kilometraje mínimo 300000km
Kilometraje medio 325000km
Kilometraje máximo 350000km

R-Reparación general: Kilometraje mínimo 550000km
Kilometraje medio 600000km
Kilometraje máximo 650000km

Comprobar los kilómetros transcurridos desde la última revisión (actividad desde puesta a cero) y según proceda:

Menos de 250.000 km, equivalente a revisiones tipo IM1, IM2, realizar ensayos verificando:

- Curvas de par y potencia.
- Aportación de la combustión de cada cilindro.
- Estabilidad del ralentí.
- Compresión relativa (según régimen)
- Prueba de arranque y batería.

Entre 250.000 y 450.000 kilómetros, equivalente a revisiones tipo IM3, realizar ensayos verificando:

- Curvas de par y potencia.
- Ensayo de inyección.
- Aportación de la combustión de cada cilindro.
- Estabilidad del ralentí.
- Compresión relativa (según régimen).
- Prueba de arranque y batería.
- Consumo en carga.
- Temperatura en carga.
- Potencia en carga.

Es decir ensayamos el motor en las IM1, IM2, IM3 y R.



2.5 Fiabilidad de los diferentes grupos de motores. Clasificación.

El estudio consiste en comprobar que grupo de motores tiene mayor fiabilidad, es decir, recorre mayor número de kilómetros hasta la detección de la siguiente avería. El objetivo es que una vez se le realice la reparación general al motor, solamente se le haga un mantenimiento preventivo durante los 450.000-650.000 kilómetros que es su esperanza de vida.

Tenemos dos tipos de motores:

a) Reutilizados:

El motor llega en estado “MU” (montado útil en el tren) se realiza el ensayo y si da valores dentro de los criterios de aceptación, pasa a “SU” (suelo útil) y “MU” de nuevo.

Según una ficha de seguimiento:

Fecha Movimiento	Situación	Vehículo	Pos	Taller	Activ. Total (km)
03/10/2012	Montado útil	967195922240 (592224)	2		2.392.150
03/07/2012	Suelo útil			47001 - BMI VALLADOLID	2.392.150
15/11/2011	Montado útil	967195922240 (592224)	2		2.309.361



Primero veremos la proporción de motores averiados, sin avería y en servicio (motores analizados recientemente y que todavía no ha dado avería ó no ha llegado al siguiente ciclo de R)

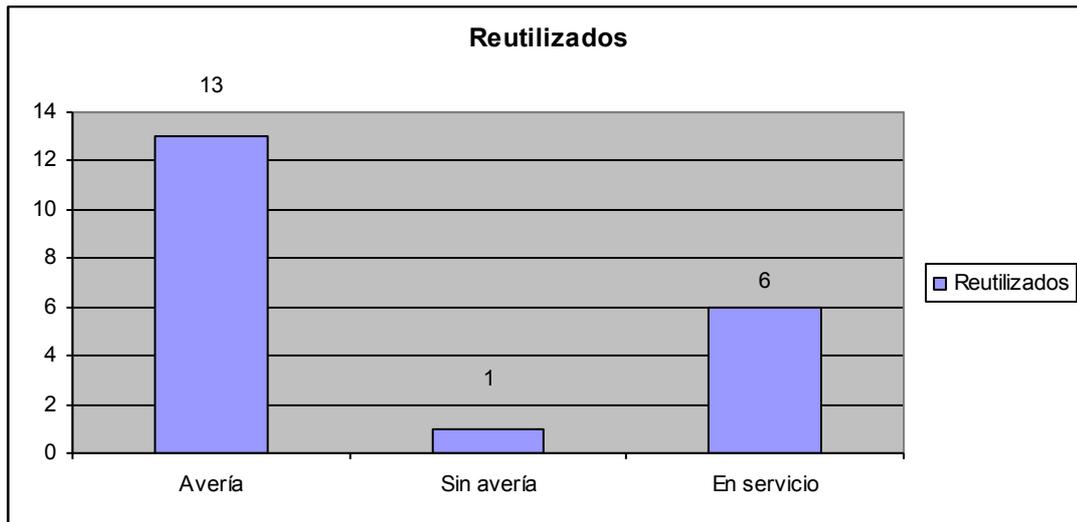


Imagen 2.5.1 – Motores reutilizados.



Al realizar el estudio de la fiabilidad de este grupo de motores, la media de kilómetros recorridos por el motor desde la realización de los ensayos hasta la avería son **376756 kilómetros** con una población de 13 motores. Si representamos la cantidad de kilómetros recorridos por cada motor entre revisión y avería y el promedio:

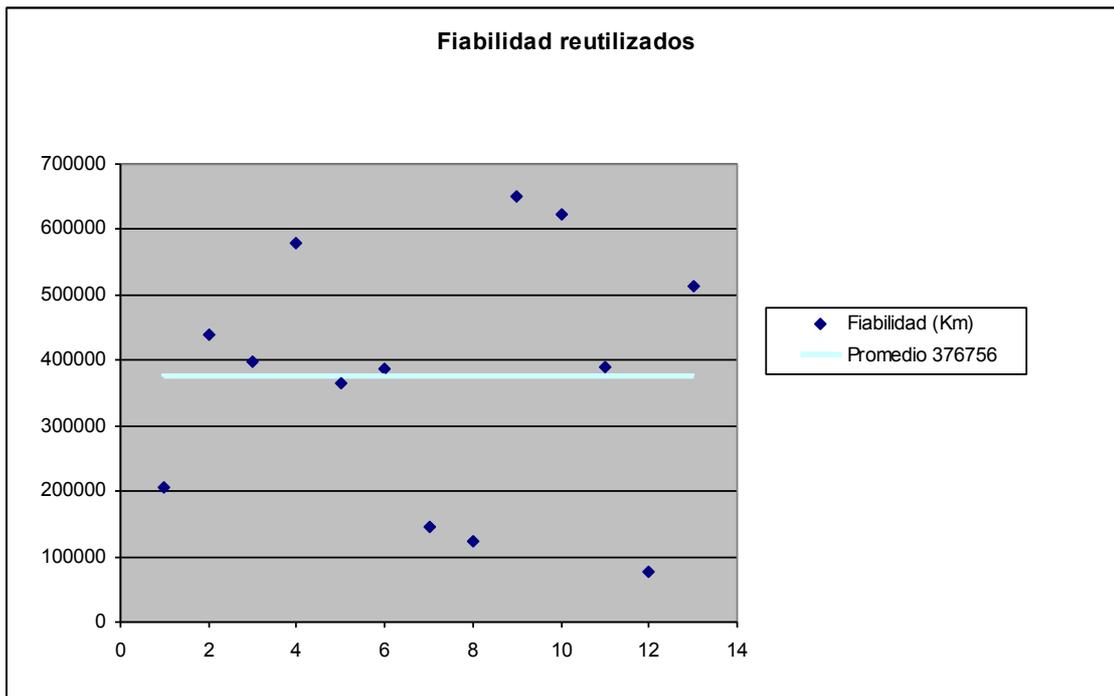


Imagen 2.5.2 – Fiabilidad reutilizados.

b) Motores enviados a Madrid para “Reparación General”

En este grupo el motor es enviado a Madrid para su reparación general. Pueden ocurrir dos cosas, si el motor vuelve a tiempo de la reparación se monta en el mismo vehículo y el envío a Madrid no figura en la ficha de seguimiento ó si el motor no llega a tiempo se monta en otro vehículo diferente.

En el primer caso, motor montado en el mismo vehículo:

Fecha Movimiento	Situación	Vehículo	Taller	Activ Total (km)	Tipo Interv.
11/11/2008 12:18	Montado útil	967195920046 (592004)		1.500.422	
06/11/2008 7:34	Suelo útil		47001 - BMI VALLADOLID	1.500.422	RG
22/10/2008 7:33	Suelo inútil		47001 - BMI VALLADOLID	1.500.422	RG
20/12/2006 11:32	Montado útil	967195920046 (592004)		1.240.065	

En el segundo caso, vemos que el motor se monta en un vehículo diferente.

Fecha Movimiento	Situación	Vehículo	Taller	Destino	Activ Total (km)	Tipo Interv.
07/10/2008	Montado útil	967195920848 (592084)			982.052	
06/10/2008	Suelo útil		41002 - BM SEVILLA		982.052	
03/10/2008	UR (Envío)		28001 - BMI MADRID	41002 - BM SEVILLA	982.052	AVM
03/10/2008	Suelo útil		28001 - BMI MADRID		982.052	AVM
01/09/2008	Suelo inútil		28001 - BMI MADRID		982.052	
29/08/2008	ID (Envío)		47001 - BMI VALLADOLID	28001 - BMI MADRID	982.052	RG
21/07/2008	Suelo inútil		47001 - BMI VALLADOLID		982.052	RG
18/05/2006	Montado útil	967195920475 (592047)			651.135	



La cantidad de motores con averías/sin avería/en servicio (motores analizados que todavía no han entrado a revisión):

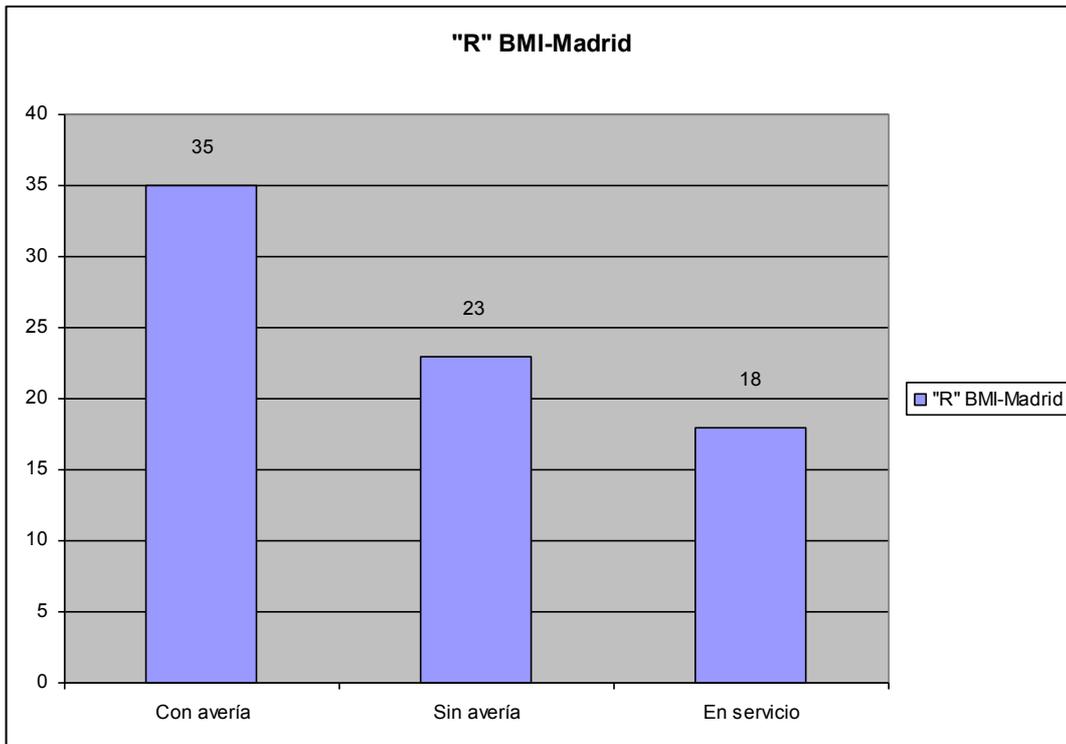


Imagen 2.5.3 – Motores reparados BMI-Madrid.



Cuando realizamos el estudio de fiabilidad de este grupo de motores resulta un promedio de **281681 kilómetros** desde el montaje en R hasta la próxima avería con una población de 35 motores. Han sido descartados del estudio los motores que han sufrido accidentes debido a que no son averías propias del motor sino que introducimos un factor externo.

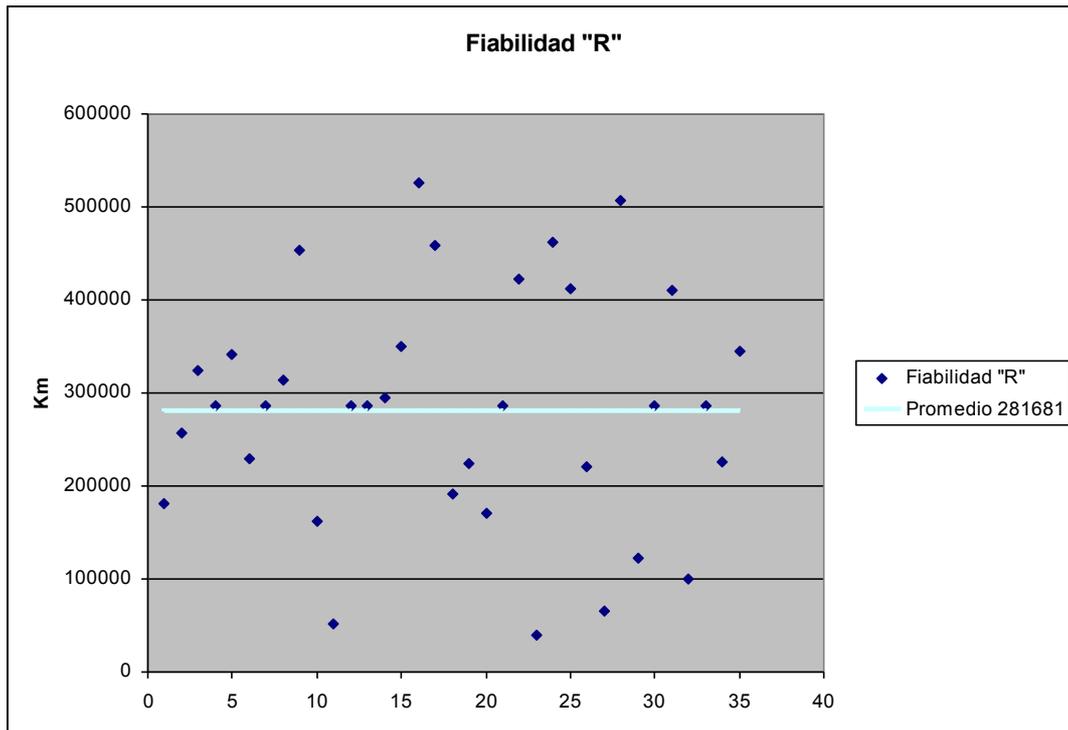


Imagen 2.5.4 – Fiabilidad reparados BMI-Madrid.



Comparando los dos grupos de motores y su media de kilómetros recorridos antes de la avería vemos que los reutilizados tienen mejor fiabilidad promedio que los reparados en la BMI-Madrid.

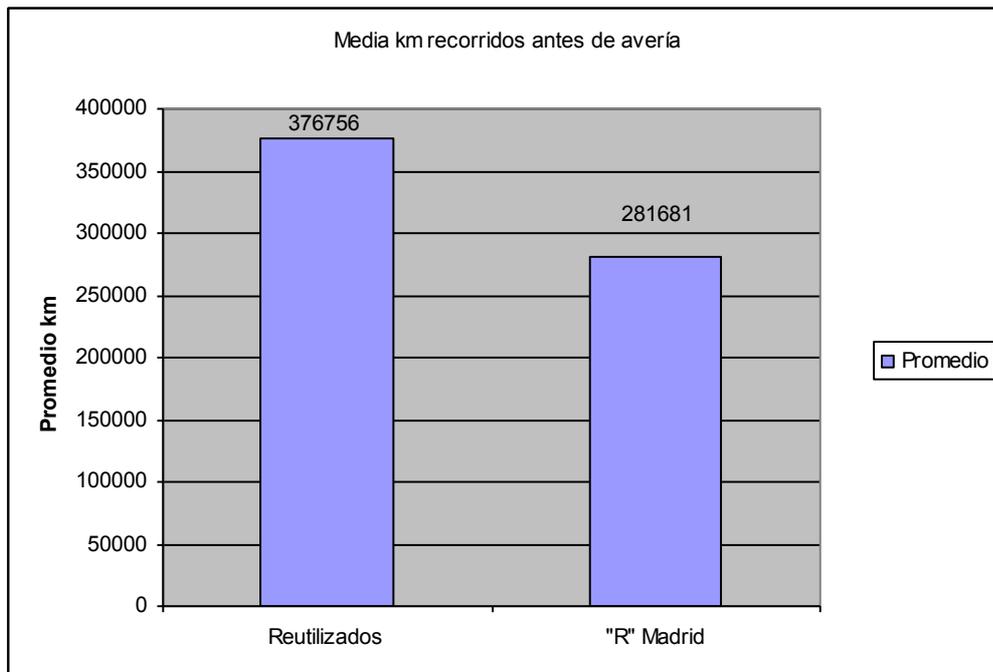


Imagen 2.5.5 – Media kilómetros recorridos antes de avería.

Es decir los motores reutilizados en su mayoría cumplen con el ciclo de vida impuesto por el plan de mantenimiento.



2.6 Correlaciones entre las averías y los datos de los ensayos.

Debido a la escasez de datos y ausencia de grupos importantes de motores con la misma avería, la única correlación encontrada es el aumento de tiempo entre averías conforme disminuye la edad del motor, independientemente del grupo al que pertenezca.

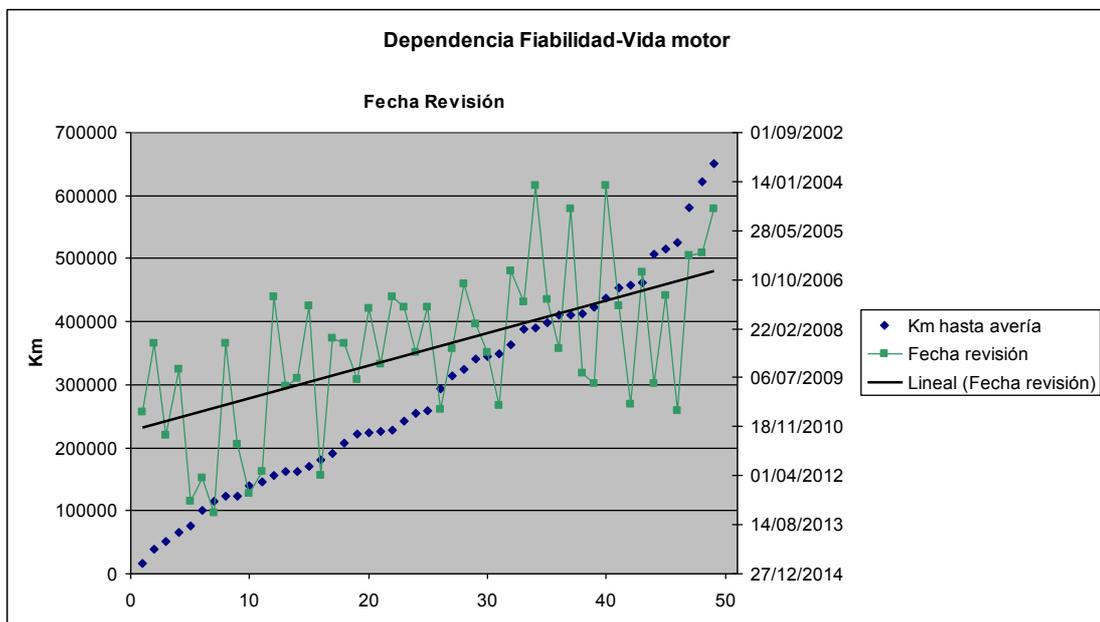


Imagen 2.6.1 – Fiabilidad-Vida motor.



En cuanto a las averías más comunes de este tipo de motores, son más frecuentes el pase compresión al cárter, que representa el 25% y en segundo lugar averías en la inyección, 10%.

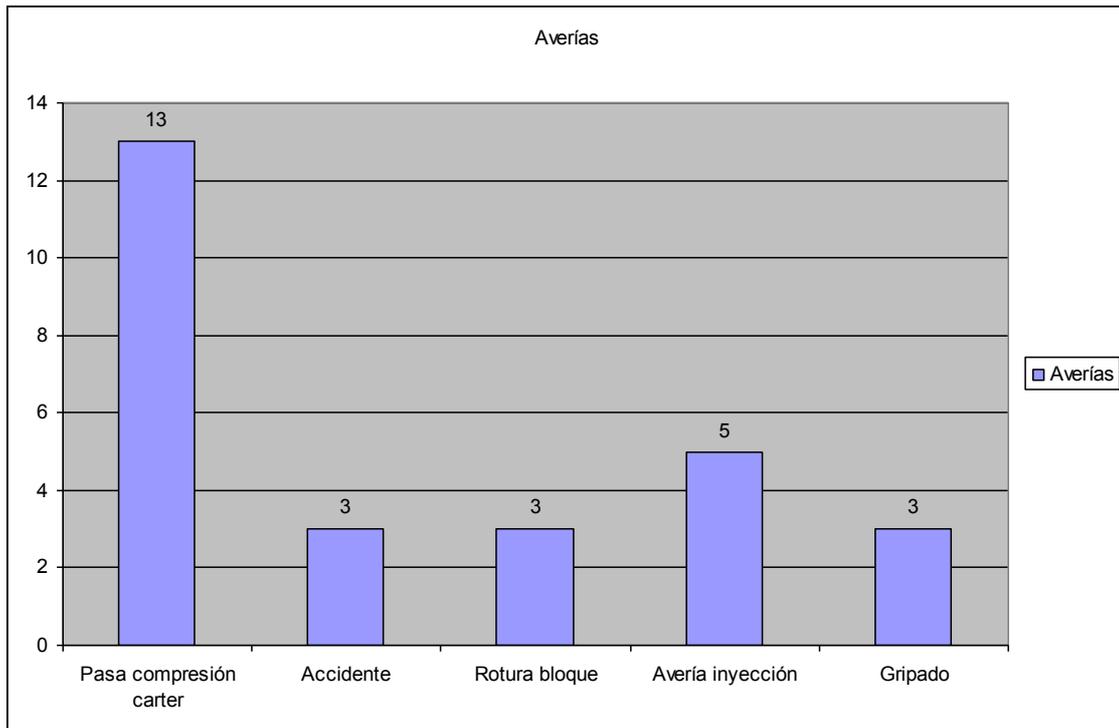


Imagen 2.6.2 – Averías comunes.

La avería más común es el pase de compresión al cárter que fundamentalmente se debe a la presencia de impurezas en el interior de motor por el mal mantenimiento de los filtros.



2.7 Criterios de aceptación.

En 2014 se implantaron unos límites de valores de las variables medidas por el equipo Sys-DMA que permiten saber si el motor se encuentra en buen estado para su reutilización ó si por el contrario necesita ser reparado. En los ensayos anteriores las decisiones se tomaban según la experiencia de los trabajadores. Para tener valores de referencia al principio se ensayaban motores nuevos y se tomaban valores. Si el motor ensayado daba valores cercanos a los obtenidos por el motor nuevo, se reutilizaba., si no, se enviaba a BMI-Madrid para su reparación. Según el estudio todos los motores reutilizados anteriores a la implantación de los criterios de validación se encontraban dentro de ese rango.

Dependiendo de la serie a la que pertenezca el motor, el calado de la bomba será diferente. Hay motores que tienen 210kw de potencia y otros que tienen 230kw. Hay ciertas variables que tienen límites iguales y otras límites diferentes para los dos motores.



Las variables con rango común para ambos motores y sus límites de aceptación:

Variable	Mínimo	Máximo
Temperatura prueba arranque (°C)	20	85
Tensión Inicial Arranque (V)	23	29
Intensidad Máxima Arranque (A)	650	1100
Tensión Mínima Arranque (V)	11	16
Potencia Máxima Arranque (W)	9000	14000
Resistencia de Arranque (Ohmios)	12	22
Impedancia de Batería (Ohmios)	12	20
Tensión Final Arranque (V)	25	30
Temperatura prueba presiones (°C)	45	85
Máxima Presión Aceite (kg/cm ²)	5	9
Régimen Máxima Presión Aceite	2000	2350
Mínima Presión Aceite (kg/cm ²)	3	6
Régimen Mínima Presión Aceite	550	800
Máxima Presión Cáster (mbar)	-10	5
Régimen Máxima Presión Cáster	550	800
Mínima Presión Cáster (mbar)	-30	-5
Régimen Mínima Presión Cáster	2000	2350
Temperatura prueba compresión relativa régimen(°C)	40	85
% cilindro i régimen (i=1,2,3,4,5,6)	92	100
Régimen medio durante el arranque	170	250
Temperatura prueba estabilidad al ralentí (°C)	40	85
Régimen medio ralentí (rpm)	580	690
Temperatura prueba régimen instantáneo (°C)	40	85
% cilindro i régimen instantáneo (i=1,2,3,4,5,6)	82	100



Las variables con diferente rango dependiendo de la potencia del motor:

Variable	Mínimo 210kw	Máximo 210kw	Mínimo 230kw	Máximo 230kw
Temperatura prueba potencia (°C)	50	80	50	80
Potencia efectiva máxima (Kw)	190	215	205	235
Régimen Pe-max (rpm)	2090	2150	2090	2150
Potencia de perdidas mecánicas máximo (Kw)	120	140	135	165
Régimen Ppm-max (Kw)	2100	2280	2100	2280
Par máximo (Nm)	990	1070	1100	1300
Régimen par máximo (rpm)	970	1075	1050	1150
Par de perdidas mecánicas máximo (Nm)	520	580	600	700
Régimen Mpm-max (rpm)	2100	2280	2100	2280
Régimen máximo prueba potencia (rpm)	2200	2350	2200	2350
Régimen mínimo prueba potencia (rpm)	550	690	580	690

A pesar de no disponer de estos valores en los ensayos anteriores a 2014, las variables recogidas en los exámenes de los motores calificados como reutilizados se encuentran en su gran mayoría dentro de estos rangos.



Debido a que existen motores de 210kw y 230kw y sus límites de potencia y par son diferentes, para introducir todos los valores en el mismo gráfico se han definido dos nuevas variables “Potencia relativa” y “Par relativo”. Dicha potencia relativa se definiría como

Potencia relativa = Potencia ensayada / Potencia nominal

y el par relativo,

Par relativo = Par ensayado / Par nominal.

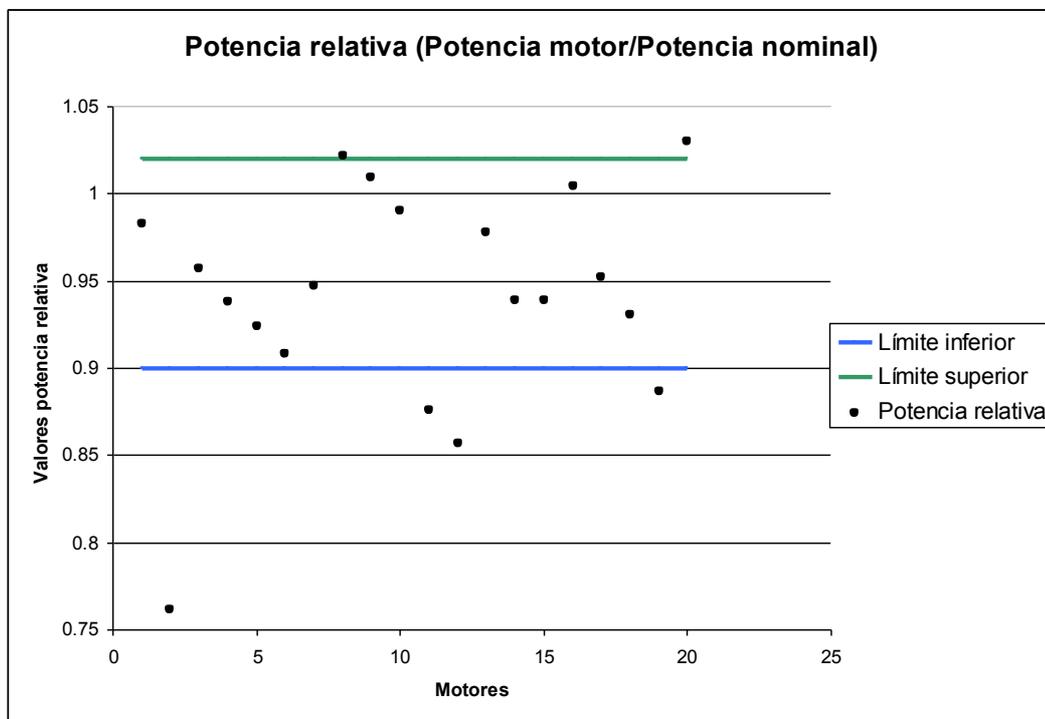


Imagen 2.7.1 – Potencia relativa.

En un 85% de las veces dicha potencia obtenida en los ensayos desde 2000 se mantiene dentro de los márgenes establecidos en 2014.



Comprobamos que ocurre de manera parecida al representar el par relativo.

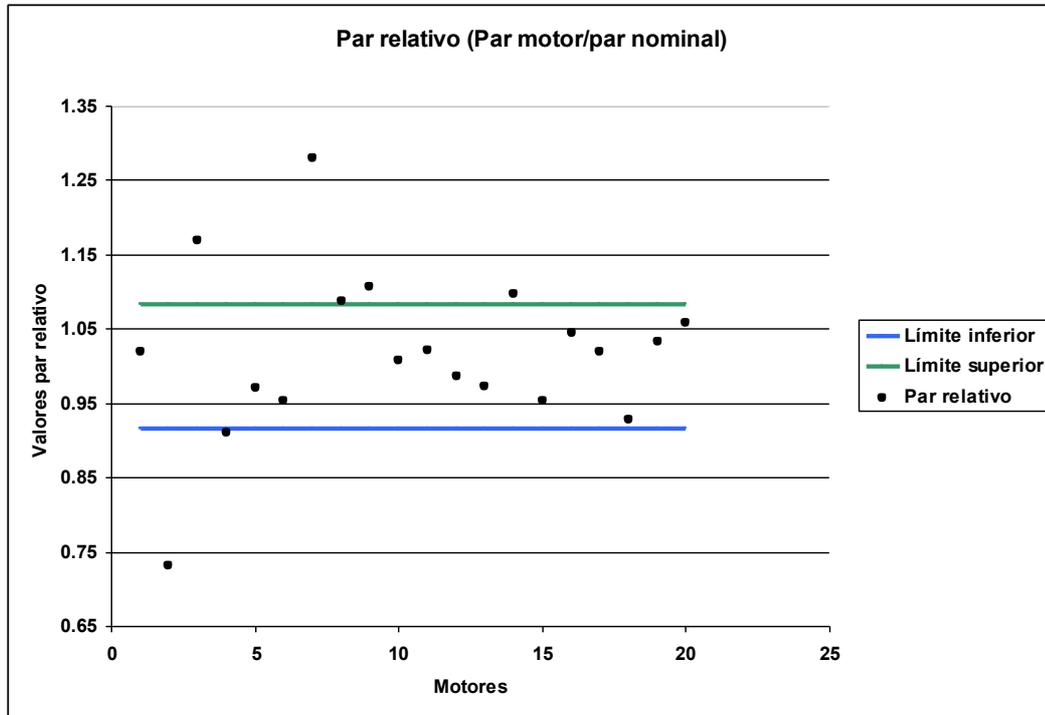


Imagen 2.7.2 – Par relativo.

2.8 Conclusiones

Los motores clasificados como reutilizados cuyos resultados del ensayo cumplen los criterios de aceptación recorren más kilómetros desde la última revisión hasta la siguiente avería. Cuando a estos motores se les realiza una revisión se detecta mayor número de averías que a los reparados.

Los motores más nuevos presentan un ligero aumento de kilometraje entre la última revisión y posterior avería que los motores más viejos, independientemente del grupo al que pertenezcan.

La avería más común en este tipo de motores es el pase de la compresión hacia el cárter, principalmente causada por el mal mantenimiento de los filtros. Si el motor presenta en el ensayo una potencia baja, cerca del límite y además el régimen medio durante el arranque es elevado, convendría



revisar los filtros del motor y comprobar su correcto mantenimiento antes de que se agrave el problema.

Los criterios de aceptación recientemente implantados ya se cumplían previo su conocimiento.





3. Adaptación a la Serie 599

3.1 Objetivos

- Adaptar el equipo disponible para las demás series Sys-DMA a la nueva serie de trenes diesel de media distancia consiguiendo:
 - Reubicación de las sondas de monitorizado de parámetros.
 - Instrucciones para la realización de las pruebas.

3.2 Introducción

Los motores principales son MAN D2876 LUE 623, donde D (diesel), 28 (diámetro 128mm), 7 (carrera 170, aunque simplemente es aproximación, realmente son 166mm), 6 (número cilindros), L (refrigeración aire de sobrealimentación), U (motor bajo piso), E (motor de adaptación, distinto al resto de vehículos), 6 (referencia interna fabricante), 21, 22 y 23 son diferentes modelos.



Imagen 3.2.1 – MAN D2876 LUE 623.



Las características más detalladas:

Tipo motor	DX2876LUE623
Disposición cilindros	Línea
Funcionamiento	Diesel, 4tiempos, con turboalimentación/intercooling y regulador aire turboalimentación (Waste Gate)
Proceso combustión	Inyección directa
Sobrealimentación	Turbocargador de escape con refrigerador del aire de carga
Número de cilindros	6
Número de válvulas por cilindro	4
Diámetro de cilindros	128mm
Carrera	166mm
Cilindrada	12816cm ³
Relación de compresión	18:1
Potencia	382kw/520cv a 2000 r.p.m.
Par	1824 Nm a 2000 r.p.m
Orden de encendido	1-5-3-6-2-4 (Mismo orden que 598)
Avance apertura admisión	23° del cigüeñal, delante P.M.S.
Retraso cierre admisión	37° del cigüeñal, detrás del P.M.I.
Avance apertura escape	60° del cigüeñal, delante P.M.I.
Retraso cierre escape	30° tras P.M.S.
Sistema de inyección	Raíl común (common rail)
Regulador inyección	Regulada electrónicamente (EDC) - Tipo EDC 7
Cantidad aceite cárter	Mínimo 24l Máximo 30l
Peso en seco	Aprox. 1050kg

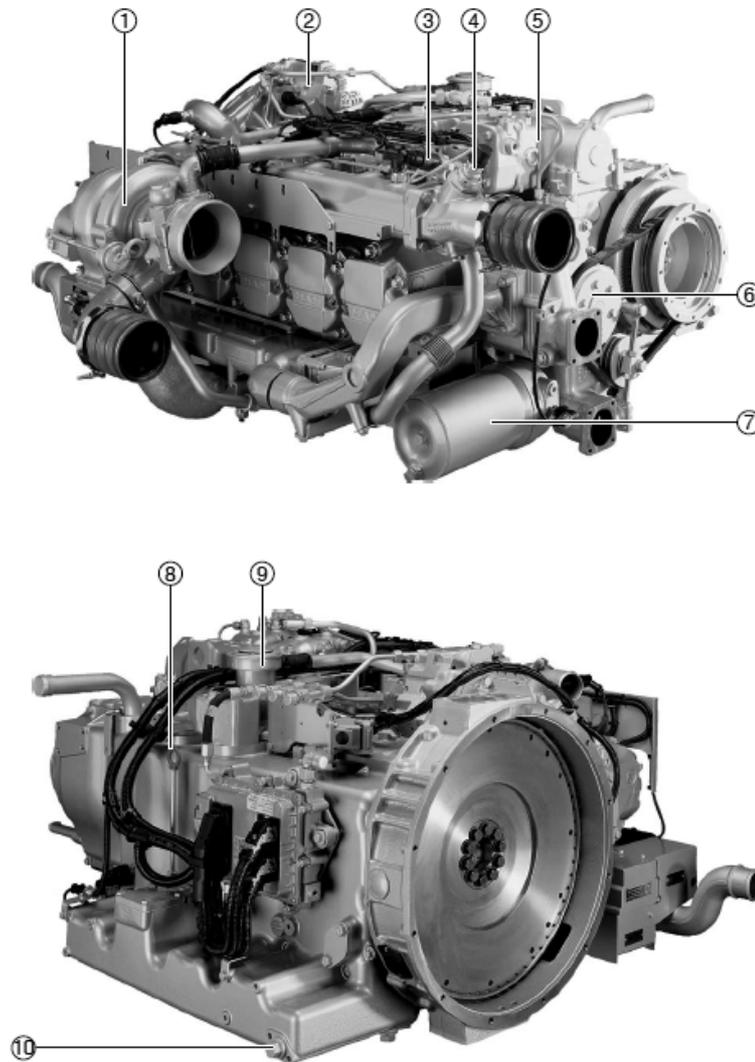


Imagen 3.2.2 – MAN D2876 LUE 623.

- 1-Turbocompresor por gases escape.
 - 2-Bomba alta presión
 - 3-Electro válvula para dispositivo arranque con llama.
 - 4-Bujía con espiga de incandescencia del arranque con llama.
 - 5-Compresor de aire.
 - 6-Bomba de refrigerante.
 - 7-Filtro del aceite.
 - 8-Varilla de control del aceite.
 - 9-Válvula del separador de aceite para ventilación del cárter del cigüeñal.
 - 10-Tornillo purga aceite.
-



La principal diferencia con el motor de la serie anterior S/598 es la inyección, la serie anterior montaba motores MAN D2876 LUE 605, de inyección directa. En la serie S/599 los motores son de raíl común. La bomba de alta presión dispone un volumen de combustible a elevada presión (1600bar) para que los inyectores en el momento de apertura de las electroválvulas inyecten combustible a elevada presión (mejor pulverización). A la hora de realizar la prueba de inyección debemos tener en cuenta que los sistemas de inyección Common-Rail pueden realizar 1, 3 o más inyecciones por lo que la curva obtenida puede ser diferente a la del resto de las series.

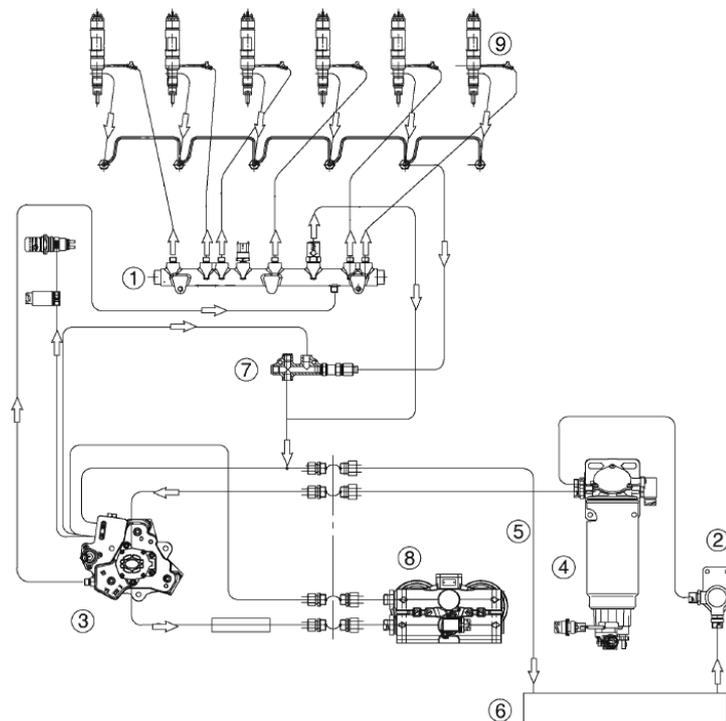


Imagen 3.2.3 – Circuito inyección.

Los elementos son:

- 1-Raíl.
- 2-Bomba de mano.
- 3-Bomba de alta presión.
- 4-Filtro previo de combustible con separador de agua.
- 5-Retorno de combustible.
- 6-Depósito.
- 7-Distribuidor de combustible.
- 8-Filtro de combustible
- 9-Inyector.



3.3 Colocación de sondas

El equipo al no estar preparado para esta serie, debemos reubicar las sondas de forma que no afecten al funcionamiento del motor y midan correctamente los valores de las variables.

a) **Sonda Hall:** Debe estar 0.5-1mm distancia para captar paso dientes. Lleva el adaptador específico correspondiente para motores MAN. Se puede colocar en la mirilla del volante utilizada también para ajustar el juego de válvulas al igual que se colocaba en el resto de las series. Éste es uno de los sensores fundamentales del ensayo por lo que conviene prestar especial atención en su colocación.

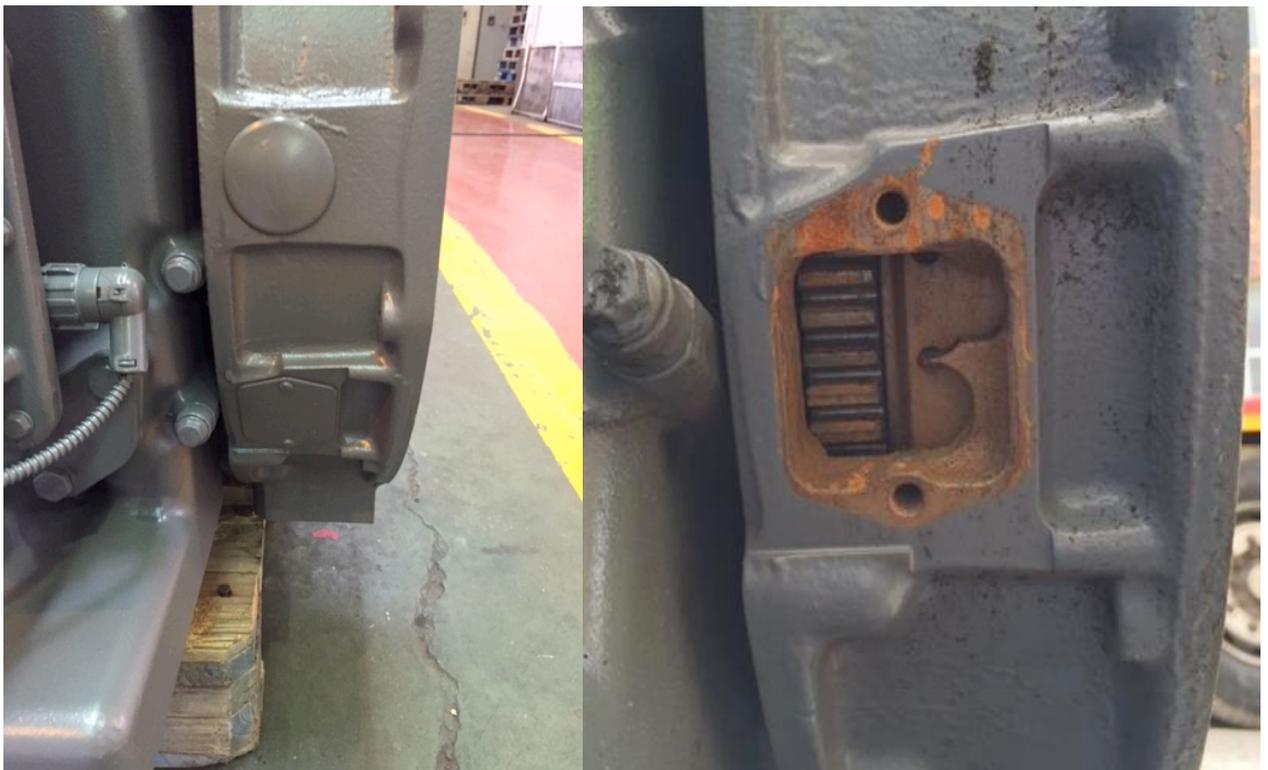


Imagen 3.3.1 – Mirilla volante inercia.



b) Sensor presión sobrealimentación: Atornillamos el sensor en el lugar del sensor de temperatura del aire de sobrealimentación situado en la tubería de admisión. Se colocará con el mismo adaptador que el de la serie S/598 para poder colocar el sensor de temperatura de aire de admisión original del motor y el necesario para la prueba.



Imagen 3.3.2 – Vista motor MAN.



Imagen 3.3.3 – Vista motor MAN.



c) **Sensor temperatura:** Atornilla a uno de los taladros roscados del cárter del aceite del motor. No es una medida precisa, pero nos da un valor orientativo de si estamos dentro del rango de temperatura o no.

d) **Sensor presión cárter.** Colocamos el tubo en el conducto donde va alojada la varilla indicadora del nivel de aceite (tapón amarillo) y su correspondiente adaptador para evitar fugas de presión. Para esta sonda es necesario establecer el cero de referencia.



Imagen 3.3.4 – Vista motor MAN.

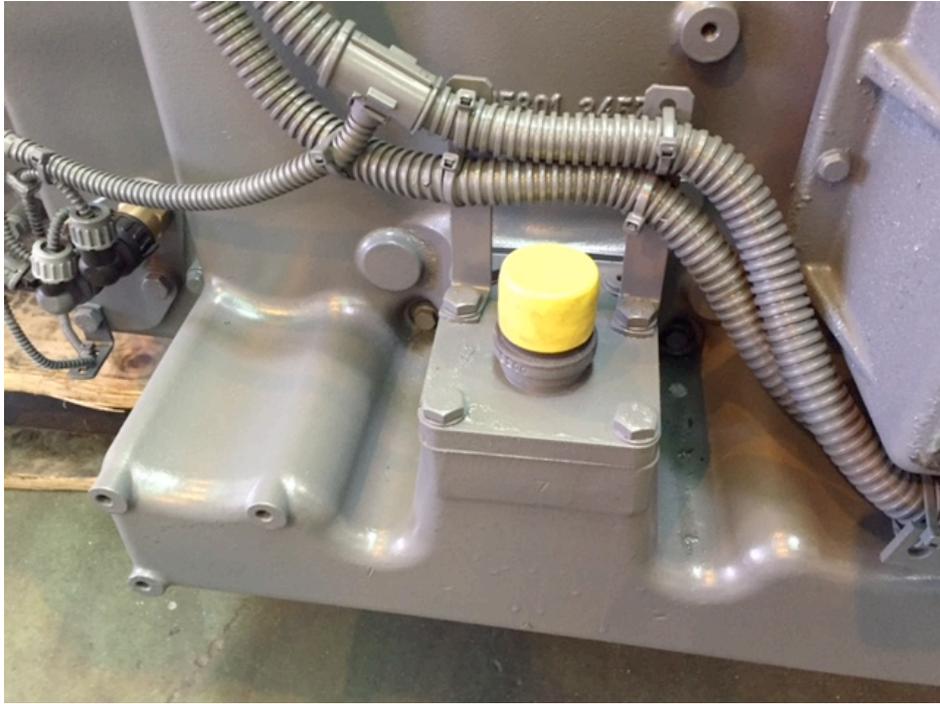


Imagen 3.3.5 – Tapón aceite.



e) **Sensor presión aceite:** El sensor se podrá colocar en el lugar de un tapón situado en la carcasa metálica del filtro de aceite. Justo encima del sensor de temperatura para arranque en frío.



Imagen 3.3.5 – Filtro aceite.



f) **Pinzas piezoeléctricas para tuberías inyección:** Pinzas colocadas en cada una de las tuberías de inyección de los cilindros. El acceso a las tuberías de inyección es complicado pero sí hay espacio para colocarlas sin que interfieran unas con otras.

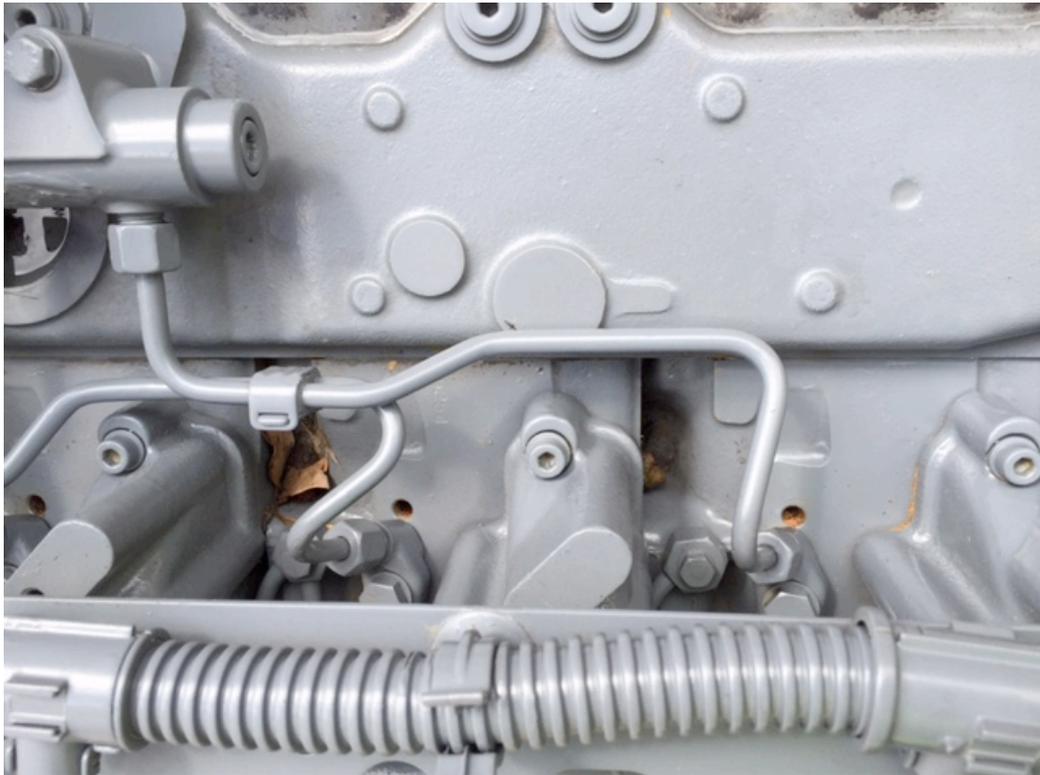


Imagen 3.3.6 – Tuberías de inyección.



Imagen 3.3.7 – Tuberías de inyección.



g) Transductor de tensión: Medida tensión de baterías con dos pinzas de cocodrilo aisladas. El mejor lugar es colocarlas en los bornes del motor de arranque por su proximidad al motor. En su defecto en el fusible general de baterías, pero está más alejado y sería necesario una manguera de mayor longitud.



Imagen 3.3.8 – Motor de arranque.

El borne positivo es el número 30 (el superior en la foto) y el borne negativo el número 31 (correspondiente al inferior en la foto)

h) Pinza amperimétrica: Mide la intensidad del motor de arranque, se ha de colocar en el borne positivo del propio motor de arranque. El borne positivo es el superior.



i) **Opacímetro:** Se ha de introducir en un registro del tubo de escape.



Imagen 3.3.9 – Registro disponible tubo de escape.



3.4 Realización de las pruebas:

La realización de las siguientes pruebas se realizará de la misma forma que el resto de las series:

Prueba de arranque y batería: Cuando el programa lo indique realizaremos el arranque del motor a ensayar. Si hubiera demasiado retardo debido al chequeo de seguridad, simplemente es sincronizarlo, ejecutamos el arranque y antes de que se produzca el volteo del motor ejecutamos la prueba.

Prueba de estabilidad del ralentí: Simplemente dejamos el motor al ralentí y ejecutamos la prueba.

Prueba de inyección: Al igual que en la anterior dejaremos el motor al ralentí y ejecutaremos la prueba. Al ser motor con raíl-común apreciaremos una pre-inyección y una inyección principal.

Prueba de aportación de cada cilindro: Al igual que en las dos anteriores dejamos que el motor funcione al ralentí mientras se ejecuta la prueba.

La realización de alguna de las pruebas es diferente a otras series, sobre todo aquellas pruebas que requieren la intervención en las variables del motor para realizarlas.

Hay que tener en cuenta varias cosas:

1. Pruebas como compresión relativa y aportación de cada cilindro son relativas, es decir, el cilindro que mayor compresión tenga o haga mayor aportación se establecerá como referencia y a partir de ahí se establece el valor del resto. Para la identificación de cada cilindro será necesario la colocación de al menos una pinza de inyección ó el sensor de levantamiento de aguja.
 2. La prueba de aceleración y potencia, al igual que en la serie 598, será menos significativa debido a que la EDC controla el proceso de aceleración para mantener la contaminación dentro de unos márgenes y no podemos realizar una aceleración repentina.
-



3. En la prueba de inyección, será diferente al resto de las series ya que existe una pre-inyección antes de la inyección principal. Por ello no importa la amplitud de los picos, sino observar la similitud entre todos los cilindros. De esta forma hasta que no se establezca una referencia para los valores de duración del pulso y avance de la inyección no podremos saber cuándo esta de manera correcta y cuando no, simplemente compararlos entre ellos.

Para establecer los valores de referencia se seguirá el mismo proceso que cuando se comenzó con la serie 592, analizando motores en buen estado y a partir de esos valores establecer unos criterios de aceptación.

a) Prueba compresión relativa S/599:

La estrategia es la misma que la de las demás series **voltear el motor cortando la inyección y arrancar en el momento que lo indique el software**. Para realizar la prueba será necesaria una persona en el armario de control C1 situado en cabina.

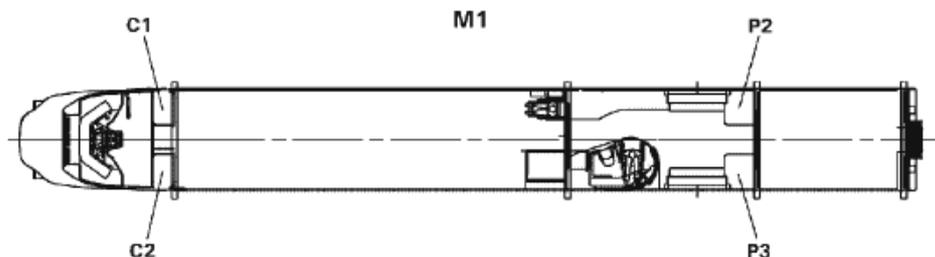


Imagen 3.4.1 – Planta coche motor.

En esta serie, la inyección la controla la EDC, sin opciones de modificación, y necesitamos que la inyección se realice cuando lo indique el software del equipo. El cosmos realiza el siguiente chequeo antes de enviar la señal de arranque:

- Manipulador en deriva.
- Seta de paro de motores no pulsada.
- Interruptor de aislamiento de motor normalizado.
- Contacto de paro de ese motor desactivado.



- No hay incendio en ese motor ni falta de integridad del equipo de incendios.
 - Nivel de aceite hidrostático correcto.
 - Nivel de agua correcto
 - Nivel de aceite del motor dentro de límites.
 - El conmutador de arranque del motor i (A ó B) en posición de arranque.
-



La estrategia a seguir es incumplir una de las señales anteriores, en concreto el interruptor de aislamiento de motor. Para la realización de la prueba prepararíamos el motor para un arranque normal excepto:

- El conmutador “Anulación del motor i” (A ó B), 03s04 posición 49 ó 03s08 posición 52, en posición de anulación. Al estar en posición de anulación, el cosmos envía una señal continua que impide que el motor arranque. En el momento que el conmutador cambie a normal, dicha señal desaparecerá.



Imagen 3.4.2 – Armario C1.



Imagen 3.4.3 – Controles de cabina.

Al incumplir una de las reglas anteriores, el motor de arranque no recibirá corriente y por lo tanto no arrancará. Necesitamos una aportación exterior de corriente de 24v directa al borne positivo del motor de arranque para que este voltee el motor. Una vez lo indique el pupitre desde cabina se dará la orden de arranque del motor correspondiente y pasaremos el conmutador de “anulación del motor i” a posición normal.

Hay que tener en cuenta que todo el proceso de arranque lleva un retardo y se debería de cambiar el conmutador de anulación a la posición normal unos segundos antes de que lo indique el pupitre, así el motor arrancaría en el momento indicado.



b) Prueba aceleración:

En esta serie no es posible realizar la prueba como se hacían para la serie 592 y 594, acelerar y decelerar lo más repentinamente posible por el mismo motivo que la prueba anterior, la inyección está controlada por la EDC y no será posible acelerar el motor de manera repentina para controlar las emisiones. Por este motivo esta prueba será menos significativa que las demás.

Se acelerará el motor desde cabina pero con los magneto térmicos 05F01 y 05F02 correspondientes a las turbo transmisiones A y B bajados. En el momento que lo requiera la prueba, pulsaremos el botón de prueba del motor correspondiente para que el régimen del motor aumente.

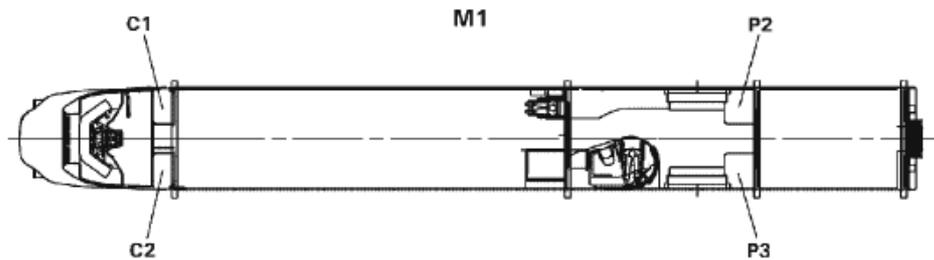


Imagen 3.4.4 – Planta coche motor.



Los pulsadores de pruebas 03S03 (posición 09, motor A) y 03S07 (posición 10, motor B) situados en el armario C1 para el coche motor 1 sirven para forzar el motor a ciertas revoluciones distintas del ralentí para las diagnosis. El armario y los térmicos se encuentran en la misma posición para el coche motor 2.



Imagen 3.4.5 – Pulsadores pruebas armario C1.

MAN dispone de un programa de diagnóstico llamado MAN-Cats II que es capaz de realizar alguna de estas pruebas, muchas veces de manera mas compleja. Por ejemplo para realizar la prueba de compresión relativa deberíamos levantar la culata de cada cilindro e insertar un manómetro registrador para realizar la prueba de compresiones. Esto debemos repetirlo tantas veces como cilindros tenga el motor, en este caso, 6. Necesitaríamos un equipo específico para su análisis.



C) Prueba de presiones

Al igual que en la prueba de aceleración debemos llevar el motor hasta sus rpm máximas. En esta prueba no importa la velocidad con la que pasamos de ralentí a máximas revoluciones.

El procedimiento es el mismo que en la prueba anterior, desde el armario C1 situado en cabina y con los conmutadores 05F01 y 05F02 correspondientes a las transmisiones bajados, pulsaremos los botones correspondientes a pruebas motor A y B (03S03 y 03S07) para llevar al motor a sus máximas revoluciones.

3.5 Valores de referencia:

MAN dispone de un software para comprobar los motores llamado MAN-Cats, se conecta el motor a un ordenador y con el software se puede hacer monitorizado de errores de la EDC, pruebas de compresión relativa y aceleración.

En este documento figuran valores nominales y a partir de ellos podemos establecer unos límites lógicos.

Ralentí: 600rpm
Tensión nominal de baterías: 24,8 V
Potencia nominal: 382 kw / 520cv a 2000 rpm
Par nominal: 1824 Nm a 2000 rpm

Así las pruebas que son relativas podríamos aplicar el mismo criterio que tiene el equipo para las demás series es decir:

- Prueba de compresión relativa: Mínimo 92% - Máximo 100%
- Aportación de cada cilindro: Mínimo 82% – Máximo 100%



3.6 Conclusiones:

El motor del 599 puede ser analizado con el equipo Sys-Dma tras una reubicación de las sondas y ajustes de las pruebas.

Al llevar más electrónica es más complicado intervenir directamente sobre variables del motor, aún así hemos visto que no es nada complicado la realización de las pruebas.



Bibliografía

- 1.- F.PAYRI, J.M. DESANTES, Motores de combustión interna alternativos. 2011.
 - 2.- Manual descriptivo S/599
 - 3.- http://www.renfe.com/FR/viajeros/nuestros_trenes/md592_ficha.html
 - 4.- http://pasch.es/?page_id=1318
 - 5.- <http://railcommon.blogspot.com.es/2008/08/el-sistema-common-rail.html>
 - 6.- http://www.ferropedia.es/wiki/Archivo:592_Renfe_-_Ourense_-_2012-08-21_-_evarujo.jpg
 - 7.- http://www.renfe.com/FR/viajeros/nuestros_trenes/md592_ficha.html
-