

# CASO DE ESTUDIO PARA MOSTRAR EL PROCEDIMIENTO DEL MÉTODO DE MINIMIZACIÓN DE PARÁMETROS DE YABLONSKI – MC’ CLASKY Y OTROS.

**MSc. Ing. Emilio Fernández Arenas**

*Universidad de Matanzas, Sede “Camilo Cienfuegos”. Carretera Vía  
Blanca Habana – Varadero, Km 3½ . Matanzas. Cuba.  
[emilio.fernandez@umcc.cu](mailto:emilio.fernandez@umcc.cu)*

## **Resumen**

El presente trabajo pretende mostrar la aplicación de algunos elementos de la estadística matemática, utilizados como herramienta en el diagnóstico técnico paramétrico de equipamiento mecánico en los mantenimientos, con el propósito de establecer un pronóstico de fallos. Por una parte, se utiliza Kendall o Método de Expertos para determinar un ordenamiento en frecuencias, de las principales fallas o averías originadas en los grupos en que se ha dividido el motor. Por la otra, y a partir del esquema funcional del motor, se definen los mínimos parámetros a controlar en el mismo, que garanticen su adecuado funcionamiento en el tiempo. Para esto se utiliza el Método de Minimización de Parámetros de Yablonski – Mc’ Clasky. Se adjunta en los anexos un fragmento del cuestionario utilizando el Método de Expertos.

**Palabras Claves:** *Mantenimiento, mantenimiento predictivo, método paramétrico, método de minimización de parámetros de Yablonski – Mc’ Clasky.*

---

## INTRODUCCIÓN.

Los antecedentes de este trabajo se remontan al año 1987 cuando se trataron de aplicar técnicas de predictibilidad al mantenimiento de los motores diesel **B2-450-ABT-C3** utilizados en aquel momento como elemento principal de fuente de movimiento en las plataformas de perforación de petróleo del País.

Fue difícil en aquel momento romper con la creencia de las bondades o infalibilidades del paradigma de los sistemas **MPP** en la mentalidad de los cuadros técnicos, en contraposición de procedimientos de predictibilidad de los mantenimientos.

Los años pasaron, la predictibilidad se ha desarrollado en el mundo con múltiples técnicas y variantes, pero los años 90 de Período Especial se convirtieron en un obstáculo a la introducción de las mismas en nuestro País.

La Revolución Energética que desarrolla Cuba ha implicado entre otras cosas la introducción masiva de motores de combustión interna en los grupos electrógenos los cuales poseen un ciclo de MPP, previstos en la garantía por los fabricantes o suministradores.

Es nuestro criterio que la aplicación paulatina de técnicas predictivas podría reducir sustancialmente los costo futuros de los mantenimientos.

Quede el presente trabajo como un intento por brindar a los técnicos, a partir de este ejemplo, el procedimiento metodológico en la aplicación de esta herramienta.

## DESARROLLO.

El diagnóstico del estado técnico de los equipos mecánicos posee un arsenal de variantes, relativamente amplias, pero sin embargo los métodos más conocidos son:

1. El método de vibrodiagnóstico.
2. El método de análisis espectrométrico.
3. El método instrumental.
4. El método de isótopos radiactivos.
5. **El método paramétrico.**

Consideramos que el último método es el mas conveniente y práctico, para las condiciones actuales, de su introducción y desarrollo.

### El método paramétrico.

Este método prevee la medición continua o periódica de los parámetros mas importantes del funcionamiento del objetivo.

Permite valorar fundamentalmente el estado del objetivo y requiere la elaboración de algoritmos matemáticos para lograr prever las averías.

De acuerdo con este método se hace necesario agrupar los parámetros por procesos específicos, además de controlar otros puntos de los elementos componentes del equipo.

En este caso se hace necesario obtener parámetros de derivación, esto es, no la medición directa de la magnitud que se debe analizar, sino aquellas magnitudes de fácil medición cuyas variaciones reflejan la medida del parámetro principal que nos interesa.

La tendencia general de este método ha sido, ir a la disminución de puntos a controlar haciendo el mismo mas económico pero mas general, haciendo el análisis en los conjuntos y no en los elementos.

Para la aplicación de este método se hizo necesario:

- ✓ Selección del grupo de parámetros de diagnóstico, o sea el conjunto de parámetros que mayor número de información dan. Estableciendo un esquema funcional. Una vez dividido el motor en los diferentes grupos, se minimizan los parámetros a controlar, aplicando el método de minimización de parámetros de **“Yablonski-Mc. Clasky”**.
- ✓ Realizar un estudio profundo del equipo, así como sus partes mas susceptibles de ocasionar fallas, aplicándose entre otras técnicas el método de **“Tormenta de Ideas”** y teniendo en cuenta el siguiente orden de prioridad:
  1. Fallas que ocasiona parada del equipo, pero no paran el proceso.
  2. Fallas que ocasiona parada del equipo, y que paran el proceso.
  3. Fallas que ocasionan pérdida de la capacidad del equipo.
- ✓ Localizar las fallas mas frecuentes que ocurren en dicho objetivo, empleando el **“Método de Expertos”**.

### **División y componentes del motor.**

Con vistas a facilitar el trabajo, se dividió el motor en siete (7) grupos funcionales con sus elementos componentes. Ellos son:

- I. Grupo cilindro pistón.(C1)
  - Culatas
  - Camisas
  - Segmentos
  - Pistón
  - Pasadores
- II. Grupo de movimiento.(Transmisión y distribución) (C2)
  - Cigüeñal
  - Árboles de transmisión
  - Volante
  - Árboles de levas
  - Bielas Cojinetes
- III. Sistema de alimentación de combustible. (C3)
  - Depósito
  - Filtro primario
  - Tubería de combustible

- Bomba de alimentación
- Filtro secundario
- Bomba de inyección
- Inyectores
- Tubería de inyectores

#### IV. Sistema de lubricación. (C4)

- Depósito
- Bomba de inyección de aceite
- Tubería de aceite
- Bomba de aceite
- Radiador de aceite
- Filtro de flujo completo
- Canales de lubricación

#### V. Sistema de enfriamiento. (C5)

- Radiador
- Ventilador axial
- Bomba de agua
- Camisas de agua
- Tuberías y conductos

#### VI. Sistema de admisión. (C6)

- Colector de admisión
- Filtro
- Válvulas de admisión

#### VII. Sistema de escape. (C7)

- Válvulas de escape
- Múltiple de escape
- Brida de unión con silenciador

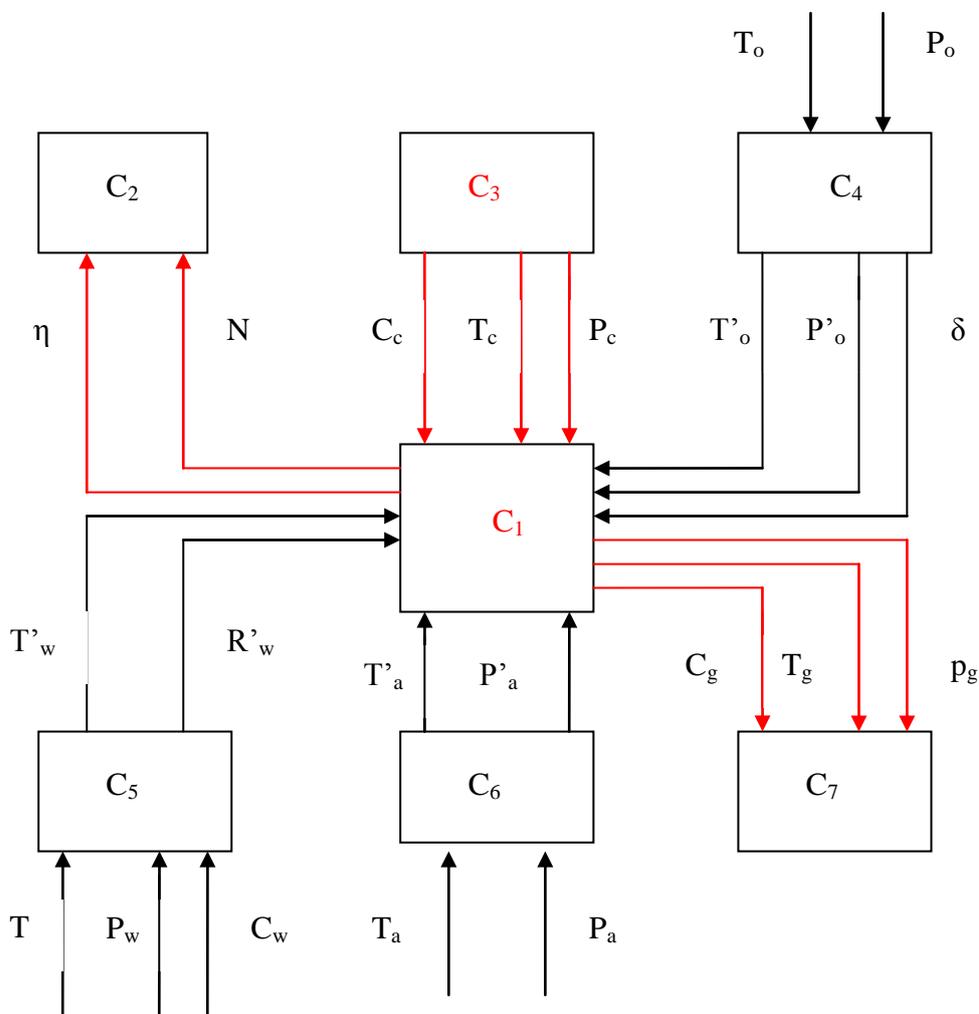
### **Establecimiento de los parámetros y su influencia sobre los grupos de los componentes del motor instituyendo el esquema funcional.**

Los parámetros de entrada y salida de cada uno de los componentes son:

- N      – rpm  
 $\eta$      – eficiencia  
 $P_{com}$   – presión de combustible  
 $T_{com}$   – temperatura del combustible  
 $C_{com}$   – consumo de combustible  
 $T_o$     – temperatura inicial del aceite  
 $P_o$     – presión inicial del aceite  
 $T'_o$    – temperatura de salida del aceite  
 $P'_o$    – presión de salida del aceite

|          |                                      |
|----------|--------------------------------------|
| $\delta$ | – viscosidad del aceite              |
| $T_w$    | – temperatura del agua               |
| $P_w$    | – presión del agua                   |
| $C$      | – composición del agua tratada       |
| $T'_w$   | – temperatura de salida del agua     |
| $P'_w$   | – presión de salida del agua         |
| $T_a$    | – temperatura del aire               |
| $P_a$    | – pureza del aire                    |
| $T'_a$   | – temperatura de salida del aire     |
| $P'_a$   | – pureza de salida del aire          |
| $P_g$    | – presión de los gases de escape     |
| $T_g$    | – temperatura de los gases de escape |
| $C_g$    | – composición química de los gases   |

**Esquema funcional del motor diesel B2-450 ABT-C3.**



Ya, confeccionado el esquema funcional del motor y conociendo la influencia de los parámetros sobre dichos conjuntos, corresponde metodológicamente, a la aplicación del método de minimización de pruebas de Yablonski-Mc.Clasky.

Este método se basa en la creación de una matriz booleana  $M$ , considerando la realización de  $n$  pruebas, por lo que se conforma la siguiente matriz:

| Objetivos / Pruebas | P1  | P2  | P3  | P4  | ..... | Pn  |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-------|-----|
| C1                  | 0/1 | 0/1 | 0/1 | 0/1 |       | 0/1 |
| C2                  | 0/1 | 0/1 | 0/1 | 0/1 |       | 0/1 |
| Cn                  | 0/1 | 0/1 | 0/1 | 0/1 |       | 0/1 |

Donde se asume que:

1: si hay fallos al realizar la prueba

0: no hay fallos al realizar la prueba

En este método se toma cada fila como un vector de la forma:

$\infty_k = (\sigma^k_1, \sigma^k_2, \dots, \sigma^k_n)$ , donde  $\sigma^k_j \in (0,1)$

En este método es importante conocer dos conceptos:

1. La comparación de vectores:

Se dice que  $\infty_T \leq \infty_R$  si para todo  $\sigma^T_j \leq \sigma^R_j$

2. La norma del vector  $\|\infty_k\|$  se define de la siguiente forma:

$$\|\infty_k\| \leq \sum_{j=1}^m \sigma^k_j$$

Mediante la ejecución de los siguientes pasos la matriz original se simplifica:

1. Si la matriz M tiene un par de filas tal que:  $\infty_r \leq \infty_b$ , la fila  $\infty_b$  se elimina de la matriz.
2. Si la matriz M tiene un par de columnas tal que:  $\beta_p \leq \beta_q$ , la fila  $\beta_p$  se elimina de la matriz.
3. Si la matriz M tiene una columna tal que:  $\|\beta_k\| = 0$ , esta columna se borra de la matriz.
4. Si la matriz M tiene una fila cuya norma es igual a uno,  $\|\infty_k\| = 1$ , la columna j que se intercepta con la fila de norma igual a uno, es borrada y la prueba cuyo número se corresponde con dicha columna, **debe ser realizada**.

Al aplicar estas transformaciones podemos llegar a los resultados siguientes:

- La matriz se borra completa, o sea, queda formada por ceros, en cuyo caso, se ha concluido, y deberán ser realizada las pruebas que se originaron al aplicar la cuarta regla.
- Aparece una matriz irreductible  $M^*$ , definiéndose cuando no sea factible aplicar las reglas de transformación anteriormente señaladas.

De suceder lo anterior, se debe aplicar el procedimiento siguiente, en el cual se obtiene una matriz cíclica  $M_0$ :

1. Se elige la columna de mayor norma, si hay varias con el mismo valor se elige una arbitrariamente.
2. Se tachan las filas que se interceptan con componentes uno (1) en la columna seleccionada y con esto obtenemos la matriz cíclica  $M_0$ .
3. Se realiza como prueba, aquella cuyo número se corresponda con el de la columna elegida.
4. Se le aplica a la matriz  $M_0$  las mismas reglas de transformación que se aplicaron a la matriz  $M$ .
5. Mediante este procedimiento, obtenemos una matriz cíclica irreducible  $M_0^*$ .
6. Se realizan las pruebas que correspondan con las columnas que permanecen en la matriz  $M_0$ .

Con esto obtenemos el conjunto mínimo de pruebas que serán las determinadas en la matriz  $M$  más las pruebas de la matriz  $M_0$ .

### **Aplicación del método al motor diesel B2-450-ABT-C3.**

Una vez que tenemos el motor dividido en sus diferentes grupos o sistemas, se elaboró el esquema funcional, representado anteriormente, y que nos brinda la interconexión entre los diferentes grupos en los que se ha dividido el motor.

Haciendo fallar cada uno de los grupos vemos como se comporta el resto de ellos y representando todo esto en la matriz booleana  $M$ .

| Grupo motor/ Pruebas | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 |
|----------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| <b>C1</b>            | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  |
| <b>C2</b>            | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  |
| <b>C3</b>            | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| <b>C4</b>            | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  |
| <b>C5</b>            | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  |
| <b>C6</b>            | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  |
| <b>C7</b>            | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |

La solución a esta matriz se realizó con un software y dio como resultado que deben hacerse los controles correspondiente a los grupos C1 y C3, es decir, a los grupos cilindro – pistón y sistema de alimentación de combustible.

Por tal motivo se deben controlar los siguientes parámetros:

### **C1- grupo cilindro pistón.**

$T_g$  – temperatura de los gases de escape  
 $C_g$  – composición química de los gases  
 $P_g$  – presión de los gases de escape  
 $N$  – rpm  
 $\eta$  – eficiencia

### **C3 – Sistema de alimentación de combustible.**

$P_{com}$  – presión de combustible  
 $C_{com}$  – consumo de combustible  
 $T_{com}$  – temperatura del combustible

Obviamente se deben, a continuación, realizar pruebas que establezcan de manera experimental la relación entre los parámetros a medir y las fallas más probables, las cuales deberán ser definidas por el procedimiento siguiente.

### **Análisis de las fallas del motor. Aplicación del “Método de Expertos”.**

Con vistas a conocer de forma precisa las fallas más concurrentes en este tipo específico de motores, se realizó una encuesta, basada en el “Método de Expertos”, en la cual, se tuvo en cuenta los requisitos planteados en la norma cubana.

Se seleccionaron 12 expertos (según norma) y se elaboró un cuestionario sobre la base de preguntas sencillas y directas, eligiendo en cada caso, la falla o las fallas de mayor importancia teórica y que más ocurren en estos equipos.

(Ver el cuestionario en los anexos)

Cada experto tendría que dar un orden de importancia o de ocurrencia de estas según su criterio.

Para ello se requiere de un procedimiento matemático que se basa en la suma de la puntuación para cada característica que será:

$$\sum_{i=1}^m A_j \qquad \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^m A_{ij}$$

Se halla el factor de concordancia (T) a través de la fórmula siguiente:

$$T = \frac{1}{K} \left[ \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^m A_{ij} \right]$$

Las características o causas se seleccionan mediante el criterio que plantea que serán seleccionados los índices que cumplan la siguiente condición:

$$\sum_{i=1}^m A_j \leq T$$

Además de escoger los índices según los criterios analíticos anteriormente señalados, debe cumplirse que:

$$W \geq 0.5$$

Lo que equivale a decir, que existe concordancia de criterios en el panel de expertos. Las fórmulas empleadas son:

$$\sum_{i=1}^m A_i \leq T \quad \Delta^2 = \sum_{i=1}^m (A_i + T)^2 \quad W = 12 \Sigma \Delta^2 / m^2 (k^3 - k)$$

donde:

$A_{ij}$ : ponderación de la característica o causa  $i$ , según el experto  $j$

$K$ : número de índices.

$m$ : número de expertos.

$T$ : factor de concordancia.

$W$ : coeficiente de concordancia.

Veamos algunos casos para ilustrar la metodología.

### Resultado # 1 Camisas.

Criterio de los expertos en el orden de riesgos.

|            |   |   |   |   |
|------------|---|---|---|---|
| Experto 1  | 4 | 1 | 2 | 3 |
| Experto 2  | 3 | 2 | 1 | 4 |
| Experto 3  | 4 | 2 | 1 | 3 |
| Experto 4  | 3 | 4 | 2 | 1 |
| Experto 5  | 3 | 2 | 1 | 4 |
| Experto 6  | 3 | 1 | 2 | 4 |
| Experto 7  | 3 | 2 | 1 | 4 |
| Experto 8  | 3 | 2 | 1 | 4 |
| Experto 9  | 2 | 3 | 1 | 4 |
| Experto 10 | 3 | 2 | 1 | 4 |
| Experto 11 | 2 | 3 | 1 | 4 |
| Experto 12 | 3 | 2 | 1 | 4 |

Riesgo de accidentes:

- 1- Camisas desgastadas.(3)
- 2- Camisas rayadas.(2)
- 3- Camisas agrietadas.(1)
- 4- Camisas con rebabas.(4)

Valor del coeficiente de Kendall **K = 0.619445**

R/Hay concordancia por lo que es confiable el resultado.

### **Resultado # 2 Culatas.**

Criterio de los expertos en el orden de riesgos.

|            |   |   |   |
|------------|---|---|---|
| Experto 1  | 3 | 1 | 2 |
| Experto 2  | 3 | 2 | 1 |
| Experto 3  | 3 | 2 | 1 |
| Experto 4  | 3 | 2 | 1 |
| Experto 5  | 3 | 2 | 1 |
| Experto 6  | 3 | 1 | 2 |
| Experto 7  | 3 | 2 | 1 |
| Experto 8  | 3 | 2 | 1 |
| Experto 9  | 3 | 2 | 1 |
| Experto 10 | 3 | 2 | 1 |
| Experto 11 | 3 | 2 | 1 |
| Experto 12 | 2 | 3 | 1 |

Riesgo de accidentes:

1. Culata con carbón.(3)
2. Culata quemada.(2)
3. Culata agrietada. (1)

Valor del coeficiente de Kendall **K = 0.770833**

R/Hay concordancia por lo que es confiable el resultado.

### **Resultado # 3 Pistones.**

Criterio de los expertos en el orden de riesgos.

|            |   |   |   |   |   |   |
|------------|---|---|---|---|---|---|
| Experto 1  | 1 | 6 | 4 | 5 | 2 | 3 |
| Experto 2  | 1 | 6 | 4 | 2 | 5 | 3 |
| Experto 3  | 1 | 6 | 4 | 3 | 5 | 2 |
| Experto 4  | 1 | 6 | 4 | 3 | 5 | 2 |
| Experto 5  | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 | 2 |
| Experto 6  | 1 | 6 | 2 | 4 | 5 | 3 |
| Experto 7  | 1 | 6 | 4 | 2 | 5 | 3 |
| Experto 8  | 1 | 6 | 4 | 2 | 5 | 3 |
| Experto 9  | 1 | 6 | 4 | 5 | 2 | 3 |
| Experto 10 | 1 | 6 | 4 | 5 | 2 | 3 |
| Experto 11 | 2 | 6 | 4 | 5 | 1 | 3 |
| Experto 12 | 4 | 5 | 6 | 2 | 3 | 1 |

Riesgo de accidentes:

1. Desgaste del pistón.(1)
2. Desgaste en el buje del pasador.(6)
3. Se pega la falda del pistón.(4)
4. Orificio de lubricación obstruido.(2)
5. Grietas en las ranuras de los aros.(5)
6. Cabeza del pistón agrietada.(3)

Valor del coeficiente de Kendall **K = 0.605556**

R/Hay concordancia por lo que es confiable el resultado.

### Resultado # 4 Aros.

Criterio de los expertos en el orden de riesgos.

|            |   |   |   |   |
|------------|---|---|---|---|
| Experto 1  | 1 | 4 | 2 | 3 |
| Experto 2  | 2 | 3 | 1 | 4 |
| Experto 3  | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Experto 4  | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Experto 5  | 1 | 4 | 2 | 3 |
| Experto 6  | 1 | 3 | 2 | 4 |
| Experto 7  | 1 | 4 | 2 | 3 |
| Experto 8  | 1 | 4 | 2 | 3 |
| Experto 9  | 1 | 4 | 2 | 3 |
| Experto 10 | 4 | 3 | 1 | 2 |
| Experto 11 | 3 | 4 | 1 | 2 |
| Experto 12 | 1 | 4 | 2 | 3 |

Riesgo de accidentes:

1. Desgaste en los aros de compresión.(1)
2. Aros pegados.(4)
3. Aros rotos.(2)

#### 4. Desgaste en los aros de aceite.(3)

Valor del coeficiente de Kendall **K = 0.525**

R/Hay concordancia por lo que es confiable el resultado.

Hasta aquí algunos de los casos que ilustran el procedimiento descrito.

Si se desea se pueden representar estos, a través de gráficos de Pareto.

### **Conclusiones.**

Hasta aquí una breve síntesis del trabajo realizado en la EPEP Centro hace algunos años atrás pero que en la actualidad adquiere una gran importancia, por su enfoque metodológico y por la utilización masiva de motores de combustión interna a lo largo de todo el País, motivado por la introducción de tecnologías para la producción de electricidad con grupos electrógenos.

Se debe tener presente que la modernización de tecnologías mecánicas no solamente se encuentra en función de los equipos, sino que es necesario la modernización de los procedimientos y técnicas de mantenimiento.

### **Bibliografía.**

GUTIÉRREZ CARLO Y ABRAHANTES RICARDO, Preliminares en predictibilidad del mantenimiento a los motores diesel B2-450 ABT – C3. 1987. Trabajo de Diploma.

GARCÍA DIHÍGO, JOAQUÍN, DR. Metodología de la investigación para las ciencias administrativas. 2005. Imprenta UMCC.

GARCÍA RUANOS, JUAN VALENTÍN. Mantenimiento Predictivo. 1985. Tesis doctoral.

NORMA CUBANA NC 49 – 81.

RIVERO FERNÁNDEZ, JULIA. Minimización de Pruebas por el Método de Yablonski - Mc. Clasky. 1987. Monografía. MINBAS.

TUTORIAL DE SPSS 11.5

## **ANEXOS.**

### **ANEXO # 1. Encuesta sobre fallas.**

#### **Cuestionario.**

#### **Grupo cilindro – pistón.**

1. ¿Cuáles son las principales roturas o fallas en las camisas?
  - \_\_\_\_ Camisa agrietada.
  - \_\_\_\_ Camisa rayada.
  - \_\_\_\_ Camisa desgastada.
  - \_\_\_\_ Camisa con rebabas.
  
2. ¿Cuáles son las principales roturas o fallas de las culatas?
  - \_\_\_\_ Culata agrietada.
  - \_\_\_\_ Culata quemada o corroída.
  - \_\_\_\_ Cámara de combustión con acumulación de carbón.
  
3. Principales fallas o roturas de los pistones.
  - \_\_\_\_ Desgaste del pistón.
  - \_\_\_\_ Cabeza de pistón agrietada.
  - \_\_\_\_ Grietas en las ranuras para aros.
  - \_\_\_\_ Se pega la falda del pistón al cilindro.
  - \_\_\_\_ Orificio de lubricación obstruido.
  - \_\_\_\_ Desgaste del buje del pasador.
  
4. Principales fallas o roturas en los aros.
  - \_\_\_\_ Desgaste en los aros de compresión.
  - \_\_\_\_ Desgaste en los aros de aceite.
  - \_\_\_\_ Aros pegados.
  - \_\_\_\_ Aros rotos.
  
5. Principales roturas o fallas en los pasadores.
  - \_\_\_\_ Desgaste en los pasadores.
  - \_\_\_\_ Fatiga y/o ralladura en la superficie de contacto.

#### **Grupo de movimiento.**

1. Principales fallas o roturas del cigüeñal.
  - \_\_\_\_ Ralladuras de los muñones.
  - \_\_\_\_ Cigüeñales partidos o doblados.
  - \_\_\_\_ Excentricidad del muñón.
  - \_\_\_\_ Ovalamiento del muñón.

2. Principales fallas o roturas de los árboles de levas.

- \_\_\_\_ Grietas en las levas.
- \_\_\_\_ Levas desgastadas.
- \_\_\_\_ Roturas del árbol de levas.
- \_\_\_\_ Desgaste de las chumaceras del árbol de levas.

3. Principales fallas o roturas de las bielas.

- \_\_\_\_ Bielas desalineadas.
- \_\_\_\_ Bielas dobladas.
- \_\_\_\_ Bielas agrietadas.
- \_\_\_\_ Espárragos y tornillos defectuosos.
- \_\_\_\_ Obstrucción de los conductos de lubricantes.
- \_\_\_\_ Excentricidad u ovalamiento en el orificio de la biela.

4. Principales fallas o roturas del volante.

- \_\_\_\_ Desgaste de los dientes de la corona del volante.
- \_\_\_\_ Volante desequilibrado.

5. Cojinetes de antifricción.

- \_\_\_\_ Cojinetes fundidos.
- \_\_\_\_ Cojinetes corroídos o carcomidos.
- \_\_\_\_ Deficiencia de adherencia entre el metal antifricción y el casquete de respaldo.
- \_\_\_\_ Deficiencia en la instalación y ajuste de los metales.

6. Árboles de transmisión.

- \_\_\_\_ Desgaste en los piñones de los árboles.
- \_\_\_\_ Desgaste entre los piñones de los árboles y los acoplamientos.
- \_\_\_\_ Árboles doblados.
- \_\_\_\_ Árboles partidos.

**Sistema de alimentación de combustible.**

1. Principales fallas o roturas de la bomba de alimentación.

- \_\_\_\_ Rotura o desajuste de la válvula de reducción.
- \_\_\_\_ Desgaste de las empaquetaduras o sellos.
- \_\_\_\_ Desgaste del rotor.

- \_\_\_\_ Desgaste de las paletas.
- \_\_\_\_ Desgaste del cuerpo de la bomba.

## 2. Principales fallas de la bomba de inyección.

- \_\_\_\_ Averías en el conjunto del vástago y el cilindro.
- \_\_\_\_ Escape externo de la bomba.
- \_\_\_\_ Atorado el vástago en el cilindro.
- \_\_\_\_ Atorada la cremallera de control.
- \_\_\_\_ Falla de la válvula de carcasa.
- \_\_\_\_ Juego excesivo en la cremallera de control.
- \_\_\_\_ Desincronización de la bomba.
- \_\_\_\_ Descalibración de la bomba.
- \_\_\_\_ Rotura del resorte del vástago.
- \_\_\_\_ Mecanismo regulador desajustado o averiado.

## 3. Principales roturas o averías del inyector.

- \_\_\_\_ Excesiva presión de la abertura de la boquilla.
- \_\_\_\_ Deficiente presión de la abertura de la boquilla.
- \_\_\_\_ Goteo en la boquilla.
- \_\_\_\_ Mala atomización de la boquilla.

## 4. Principales fallas o roturas de los filtros del sistema de combustible.

- \_\_\_\_ Elemento filtrante obstruido antes de tiempo.
- \_\_\_\_ Aire en el filtro.
- \_\_\_\_ Escape de combustible en la caja del filtro.

## **Sistema de lubricación.**

### 1. Principales fallas o roturas de la bomba de aceite.

- \_\_\_\_ Desgaste en los bujes i cojinetes.
- \_\_\_\_ Desgaste en los piñones.
- \_\_\_\_ Obstrucción en los conductos.
- \_\_\_\_ Desgaste en las empaquetaduras.
- \_\_\_\_ Escape en la válvula de derivación o deficiente tensión.
- \_\_\_\_ Desgaste o rotura del árbol de accionamiento de la bomba.

### 2. Principales fallas o roturas de los radiadores de aceite.

- \_\_\_\_ Obstrucción de tubos y conductos del radiador.
- \_\_\_\_ Escapes de aceite en los tubos y uniones.

### 3. Filtros y tuberías. Principales fallas o roturas.

- \_\_\_\_ Obstrucción de elemento filtrante antes de tiempo.
- \_\_\_\_ Obstrucción de tuberías y conductos de aceite.
- \_\_\_\_ Roturas y salideros en los conductos y uniones.

### **Sistema de enfriamiento.**

#### 1. Principales fallas o roturas en la bomba de agua.

- \_\_\_\_ Rotura del árbol.
- \_\_\_\_ Desgaste de los sellos del árbol.
- \_\_\_\_ Entrada de aire en la tubería de succión.
- \_\_\_\_ Obstrucción de los conductos de succión.

#### 2. Principales fallas o roturas en los elementos del sistema.

- \_\_\_\_ Exceso de incrustaciones en conductos y camisas de agua.
- \_\_\_\_ Obstrucción en tubos del radiador.
- \_\_\_\_ Salideros en conductos y uniones del sistema.
- \_\_\_\_ Desgaste excesivo del embrague del ventilador.
- \_\_\_\_ Rotura o desajuste de la válvula termostática.

### **Sistema d admisión de aire.**

#### 1. Principales fallas o roturas del filtro de aire.

- \_\_\_\_ No utilización del filtro.
- \_\_\_\_ Filtro obstruido y sucio.
- \_\_\_\_ Exceso de aire en los paneles superiores del filtro,

#### 2. Principales fallas o roturas en las válvulas de admisión.

- \_\_\_\_ Deformadas o rotas las guías de las válvulas.
- \_\_\_\_ Muelles rendidos o partidos.
- \_\_\_\_ Asientos agrietados.
- \_\_\_\_ Deficiente ajuste entre la válvula y el asiento.
- \_\_\_\_ Mala regulación de holgura entre leva y válvula.
- \_\_\_\_ Válvulas calzadas.

#### 3. Principales fallas o roturas en el múltiple de admisión.

- \_\_\_\_ Roturas y grietas en el múltiple.
- \_\_\_\_ Entrada de aire por la junta entre el múltiple y el bloque.
- \_\_\_\_ Roturas o mala conexión entre el múltiple y el filtro de aire.

### Sistema de escape.

#### 1. Principales fallas o roturas en las válvulas de escape.

- \_\_\_\_ Válvulas quemadas.
- \_\_\_\_ Deformadas o rotas las guías de las válvulas.
- \_\_\_\_ Muelles rendidos o partidos.
- \_\_\_\_ Asientos agrietados.
- \_\_\_\_ Deficiente ajuste entre la válvula y el asiento.
- \_\_\_\_ Mala regulación de holgura entre leva y válvula.
- \_\_\_\_ Válvulas calzadas.

#### 2. Principales fallas o roturas en el múltiple de escape.

- \_\_\_\_ Múltiple de escape agrietado o roto.
- \_\_\_\_ Escape de gases por la unión entre el múltiple y la tapa del bloque.