

PLANTEAMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EJECUCIÓN DE  
MANTENIMIENTO OVERHAUL A MOTORES CATERPILLAR 3612 Y  
COMPRESORES ARIEL JGC4



GABRIEL LEONARDO ARDILA PEREZ  
DIEGO FERNANDO BARAJAS TRIANA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA  
2012

PLANTEAMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EJECUCIÓN DE  
MANTENIMIENTO OVERHAUL A MOTORES CATERPILLAR 3612 Y  
COMPRESORES ARIEL JGC4

GABRIEL LEONARDO ARDILA PEREZ  
DIEGO FERNANDO BARAJAS TRIANA

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en  
Gerencia de Mantenimiento

Director: SERGIO ANDRES GUTIERREZ ROJAS  
Ingeniero Mecánico  
Especialista en Ingeniería del gas

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA  
2012

## **AGRADECIMIENTOS**

Doy gracias a Dios por darme la sabiduría y paciencia para el desarrollo de tan importante éxito como es el de ser especialista, también reconozco el apoyo de mi ser amado Erika Milena, mis padres Hernando y Licenia, amigos y profesores.

**Diego Fernando**

Agradezco a Dios por la fortaleza, a mi esposa, madre y hermanos por su apoyo incondicional, y a mis allegados por toda su colaboración.

**Gabriel Leonardo**

## CONTENIDO

	pag
INTRODUCCIÓN .....	16
1 OBJETIVOS .....	17
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
2 JUSTIFICACIÓN .....	18
3 MARCO TEORICO.....	19
3.1 COMPRESOR RECIPROCANTE .....	19
3.1.1 Desempeño de un Compresor Reciprocante .....	20
3.1.1.1 Ciclo de compresión.....	20
3.1.1.2 Desplazamiento del Cilindro.....	22
3.1.1.3 Eficiencia Volumétrica .....	23
3.1.1.4 Velocidad del Pistón.....	25
3.1.1.5 Temperatura de Descarga .....	27
3.1.1.6 Potencia .....	27
3.1.2 Componentes del Compresor Reciprocante .....	31
3.1.2.1 Pistón .....	31
3.1.2.2 Vástago .....	32
3.1.2.3 Biela .....	33
3.1.2.4 Cruceta.....	33
3.1.2.5 Cilindro .....	34
3.1.2.6 Válvula .....	35
3.1.2.7 Packing .....	37
3.2 MOTOR A GAS.....	38
3.2.1 Funcionamiento de un Motor a Gas .....	38
3.2.1.1 Admisión .....	38
3.2.1.2 Compresión.....	39

3.2.1.3	Expansión .....	39
3.2.1.4	Escape .....	40
3.2.2	Partes Fundamentales de un Motor a Gas.....	40
3.2.2.1	La Culata.....	40
3.2.2.2	El Bloque.....	41
3.2.2.3	Carter .....	41
3.3	MANTENIMIENTO PREDICTIVO .....	42
3.3.1	Técnicas Predictivas .....	43
3.3.2	Análisis De Vibraciones.....	43
3.3.3	Análisis de Aceites .....	45
4	SELECCIÓN DE COMPONENTES PARA DETERMINAR EL OVERHAUL .....	46
4.1	Matriz Cualitativa.....	47
4.2	Componentes Seleccionados para Motor .....	62
4.2.1	Cigüeñal.....	62
4.2.1.1	Vibraciones .....	62
4.2.1.2	Análisis de Aceite.....	63
4.2.1.3	Medición de Deflexión .....	64
4.2.2	Camisas .....	65
4.2.2.1	Análisis de aceites.....	66
4.2.3	Biela .....	66
4.2.3.1	Cargas Sobre La Biela .....	66
4.2.3.2	Análisis de Aceite.....	67
4.2.3.3	FUGA DE COMPRESIÓN (BLOW – BY) .....	68
4.2.4	Pin Pistón .....	69
4.2.4.1	Análisis de aceite .....	69
4.2.5	Pistón .....	70
4.2.5.1	Análisis de Aceite.....	70
4.2.5.2	Pistón SLAP .....	70
4.2.6	Culata.....	72

4.2.6.1	Medida de recesión .....	72
4.2.6.2	Inspección con Videoscopio .....	73
4.3	Componentes Seleccionados para Compresor .....	73
4.3.1	Matriz Cualitativa .....	73
4.4	Componentes Seleccionados para Motor .....	77
4.4.1	Casquete de Bancada, Biela y Cigüeñal .....	77
4.4.1.1	Aceite .....	77
4.4.1.2	Bancadas .....	77
4.4.1.3	Bielas .....	78
4.4.1.4	Cilindros .....	79
5	PROCEDIMIENTOS .....	81
5.1	PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE COMPRESIÓN EN CILINDROS MOTRICES .....	81
5.2	PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE PROYECCIÓN EN VÁLVULAS MOTRICES .....	81
5.3	PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DEL ESCAPE DE GASES DE COMBUSTIÓN AL CÁRTER .....	82
5.4	PROCEDIMIENTO PARA MEDIR LA PRESIÓN DE LOS CILINDROS ....	83
5.5	PROCEDIMIENTO PARA INSPECCIONAR CILINDROS .....	85
5.6	PROCEDIMIENTO PARA MEDICIÓN DE DEFLEXIÓN .....	86
5.7	PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE PRESIÓN, VIBRACIONES, ULTRASONIDO Y TEMPERATURA EN COMPRESORES .....	88
5.7.1	CODIFICADOR .....	88
5.7.2	PRESIÓN .....	88
5.7.3	VIBRACIÓN Y ULTRASONIDO .....	89
5.7.4	TEMPERATURA .....	89
5.7.5	BANCADAS Y CRUCETAS .....	89
5.7.6	VIBRACIÓN FFT .....	90
5.8	PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE VIBRACIONES, ULTRASONIDO, TEMPERATURA E IGNICIÓN SECUNDARIA EN MOTORES .....	90

5.8.1	CODIFICADOR .....	90
5.8.2	IGNICIÓN SECUNDARIA .....	90
5.8.3	VIBRACIÓN Y ULTRASONIDO .....	91
5.8.4	TEMPERATURA .....	91
5.8.5	BANCADAS .....	91
5.8.6	VIBRACIÓN EN MODO FFT .....	91
6	CONCLUSIONES.....	92
	BIBLIOGRAFIA.....	93

## LISTA DE FIGURAS

	Pag
FIGURA 1. Compresor Reciprocante Ariel JGC4 .....	19
FIGURA 2. Diagrama indicador Ideal.....	20
FIGURA 3. Ciclos de Compresión del Compresor Reciprocante .....	21
FIGURA 4. Eficiencia del Compresor Reciprocante con una velocidad de la válvula 3000 fpm.....	29
FIGURA 5 Componentes del Compresor Reciprocante.....	30
FIGURA 6. Vástago de un Compresor Ariel .....	32
FIGURA 7 Biela .....	33
FIGURA 8 Cruceta.....	34
FIGURA 9 Cilindro .....	35
FIGURA 10 Válvulas.....	36
FIGURA 11 Packing.....	37
FIGURA 12 Ciclo Otto.....	38
FIGURA 13 secciones principales de un motor .....	42
FIGURA 14 Señales en el Dominio del Tiempo y en el Dominio de la Frecuencia	44
FIGURA 15 Curva P-F .....	57
FIGURA 16 Recomendación de Fabricante.....	58
FIGURA 17 Costo de Mantenimiento con respecto al Gas.....	59
FIGURA 18 Diagrama de Flujo .....	61
FIGURA 19 Cojinetes de bancada en aceleración.....	62
FIGURA 20 Tendencia del Aceite .....	63

FIGURA 21 Problemas Asociado a Camisas en Gráfico de Vibración .....	65
FIGURA 22 Cargas sobre la biela.....	67
FIGURA 23 Representa la Evidencia de Pase de Gases al Cáster.....	68
FIGURA 24 Gráfica Wrist Pin.....	69
FIGURA 25 Representación del fenómeno en vibración sin filtro de frecuencia...71	
FIGURA 26 Representación del fenómeno en ultrasonido .....	71
FIGURA 27 Montaje Representativo de Válvula .....	72
FIGURA 28 Análisis de vibraciones en bancada .....	78
FIGURA 29 Análisis de vibraciones de Bielas .....	79
FIGURA 30 Ruidos indicadores de Problemas en Cilindros .....	80
FIGURA 31 Presiones de cilindro típicas para motores con diferentes relaciones de compresión .....	85
FIGURA 32 Valores de Deflexión. ....	87
FIGURA 33 Evaluación de Deflexión.....	87

## LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1 Eficiencia Multiplicadora de la Gravedad Específica.....	28
Tabla 2 Eficiencia Multiplicadora para baja presión .....	29
Tabla 3 Valoración para determinar el Overhaul.....	47
Tabla 4 Actividades de Overhaul .....	52
Tabla 5 Componentes Dominantes para Realizar el Overhaul .....	56
Tabla 6 Registro de Deflexión.....	64
Tabla 7 Evaluación de deflexión .....	64
Tabla 8 Valoración para determinar el Overhaul.....	73
Tabla 9 Componentes a Diagnosticar.....	74
Tabla 10 listado de actividades COMPRESOR ARIEL JGC4.....	74
Tabla 11 Actividad para ejecución de Overhaul.....	76

## RESUMEN

**TÍTULO:** PLANTEAMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EJECUCIÓN DE MANTENIMIENTO OVERHAUL A MOTORES CATERPILLAR 3612 Y COMPRESORES ARIEL JGC4

**AUTOR:** GABRIEL LEONARDO ARDILA PEREZ-DIEGO FERNANDO BARAJAS TRIANA

**PALABRAS CLAVE:** Motor, Compresor, Overhaul

**DESCRIPCION** La presente monografía se enfoca en el desarrollo del área de mantenimiento de una compañía que presta sus servicios a la industria del petróleo y gas, en especial el servicio de reparación a equipos de seguridad.

El costo de los trabajos overhaul de las máquinas objeto de esta monografía, puede ser en promedio cerca del 60% del costo de comprarla; una organización puede decidir ejecutar este trabajo de acuerdo a las horas de operación recomendadas por el catálogo del fabricante, pero de acuerdo al contexto y condiciones operacionales, los trabajos overhaul son requeridos en un determinado momento que puede no coincidir exactamente con la recomendación de fábrica. El momento de la ejecución del overhaul, es posible determinarlo desarrollando planteamientos cuantitativos o cualitativos de acuerdo a la condición del equipo; para determinar la condición del equipo, se usan técnicas de mantenimiento predictivo y preventivo tales como vibraciones mecánicas, medición de desempeño dinámico, ultrasonido, metrología, boroscopia, análisis de aceite, entre otros.

Ejecutar el overhaul en el momento oportuno, es una decisión apropiada en cuanto a riesgos y rendimientos financieros, ya que realizar un overhaul cuando el equipo aun tiene condiciones aceptables para operar, es hacer un gasto anticipado, y realizarlo cuando el equipo opera por debajo de las condiciones aceptables, es asumir riesgos de seguridad, ambientales y operacionales, igualmente se contribuye al deterioro de la integridad del equipo y desempeño con bajas eficiencias.

---

\* Proyecto de grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Especialización en Gerencia de mantenimiento.

Director: Ing Sergio Gutierrez

## SUMMARY

**TITLE:** APPROACH FOR DETERMINING THE PERFORMANCE OF MAINTENANCE OVERHAUL A CATERPILLAR 3612 COMPRESSOR AND ARIEL JGC4

**AUTHOR:** GABRIEL LEONARDO ARDILA PEREZ-DIEGO FERNANDO BARAJAS TRIANA

**KEY WORDS:** Engine, Compressor, Overhaul.

**SUBJECT:** This paper focuses on the development of the maintenance area of a company that provides services to oil and gas industry, especially the service and repair of safety equipment.

The cost of the overhaul on the equipment referred in this monograph, it's on average about 60% of the cost of buying it; an organization can decide to execute the work according to the hours of operation recommended by the manufacturer's catalog, but according to the context and operational conditions, overhaul is required in a specific time, that may not exactly the factory recommendation. The execution time of overhaul can be determined by quantitative or qualitative approaches developed according to the condition of the asset; to determine that condition, are used techniques of predictive and preventive maintenance such as mechanical vibrations, dynamic performance measurement, ultrasound, metrology, videoscope, oil analysis, among others.

To execute the overhaul at the right time, is an appropriate decision regarding risks and financial returns, and to make an overhaul when the asset still has acceptable conditions to operate, is to do an anticipated spending. To execute the overhaul when the asset hasn't acceptable conditions to operate, is to take security, environmental and operational risks, also contributes to the deterioration of the integrity of the asset, and performance with low efficiencies.

---

\*Monograph

\*\* School of Mechanical Physical Engineering. Maintenance Management Specialization.  
Director: Eng Sergio Gutierrez

## INTRODUCCIÓN

Los trabajos overhaul a los motores de combustión interna y compresores recíprocos son requeridos para restaurar la condición de desempeño de los equipos, aumentar la confiabilidad de estos y su integridad, en organizaciones de estándares de administración de activos de buen nivel estos trabajos se conciben como inversión y es por esto que se requiere realizarlos en el momento oportuno

Para determinar el momento oportuno de la ejecución de los trabajos overhaul es necesario tener implementadas técnicas de diagnóstico predictivo a los equipos así como evaluaciones intrusivas y no intrusivas para con estos datos tomar la decisión de cuando llevar a cabo el trabajo mayor. Teniendo en cuenta esto este documento plantea las indicaciones técnicas para llevar la trazabilidad de las variables más determinantes que indicaran el momento de la ejecución del overhaul

Este planteamiento se realiza teniendo en cuenta que el equipo funcionara bajo condiciones de operación para las cuales ha sido diseñado así como para una vida útil sin fallos catastróficos que su solución impliquen reparaciones mayores en los equipos

# **1 OBJETIVOS**

## **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Elaborar el planteamiento para la determinación de la ejecución de mantenimiento overhaul a motores Caterpillar 3612 y compresores Ariel JGC4

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Seleccionar los componentes de las máquinas a los cuales se les realizara la medición de las variables para tomar la decisión de la ejecución de los trabajos overhaul.

Seleccionar las variables que se medirán a los componentes escogidos.

Determinar los límites mínimos y máximos para las variables seleccionadas.

Establecer la frecuencia de medición de las variables.

Crear los procedimientos y formatos para el registro de las variables seleccionadas

## 2 JUSTIFICACIÓN

Las organizaciones requieren tener un planteamiento técnico que se debe ir revisando con determinada frecuencia con el cual llevar tendencias a los equipos para técnicamente determinar la ejecución de estos trabajos porque se puede llegar a asumir costos de mantenimiento de manera temprana y casi innecesarios en la vida útil de los equipos, por otro lado si de acuerdo a las condiciones operacionales los equipos llegan a sufrir desgaste prematuro se corre el riesgo que se presenten fallas catastróficas que restaurarlas hará que se incurra en más costos de los que normalmente se inviertan en los trabajos overhaul.

### 3 MARCO TEORICO

Este capítulo de la monografía presenta una estructura teórica acerca del compresor recíprocante consta de dos grandes partes: el lado de cilindros compresores y la parte de fuerza o sistema de potencia. La primera, eleva la presión al gas de proceso (compresor), y la segunda, acciona los compresores, suministrándoles potencia (motores de gas de combustión interna).

Para realizar la ejecución de un óptimo “*overhaul*” es necesario contar con las técnicas que proporciona el mantenimiento predictivo: análisis de aceite, vibraciones mecánicas, termografía, metrología y boroscopia.

#### 3.1 COMPRESOR RECIPROCANTE

El compresor Figura 1 es una máquina cuya función es incrementar la presión de un gas o una mezcla de gases. La presión del fluido se eleva reduciendo el volumen específico del mismo, por su paso a través del compresor.

**FIGURA 1.** Compresor Recíprocante ArielJGC4



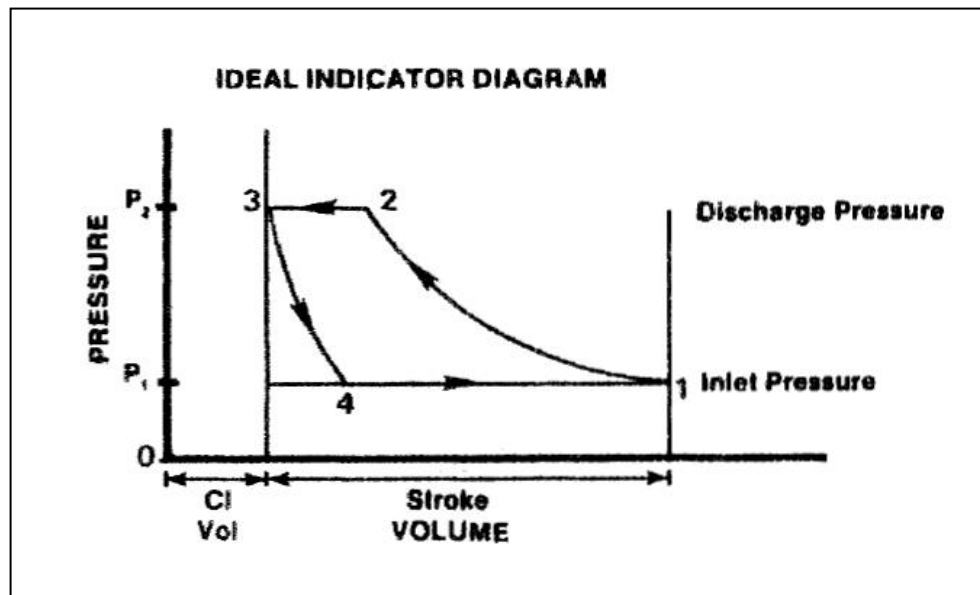
Fuente:[http://es.arielcorp.com/ariel\\_products.aspx?id=63,2012](http://es.arielcorp.com/ariel_products.aspx?id=63,2012)

### 3.1.1 Desempeño de un Compresor Reciprocante

#### 3.1.1.1 Ciclo de compresión

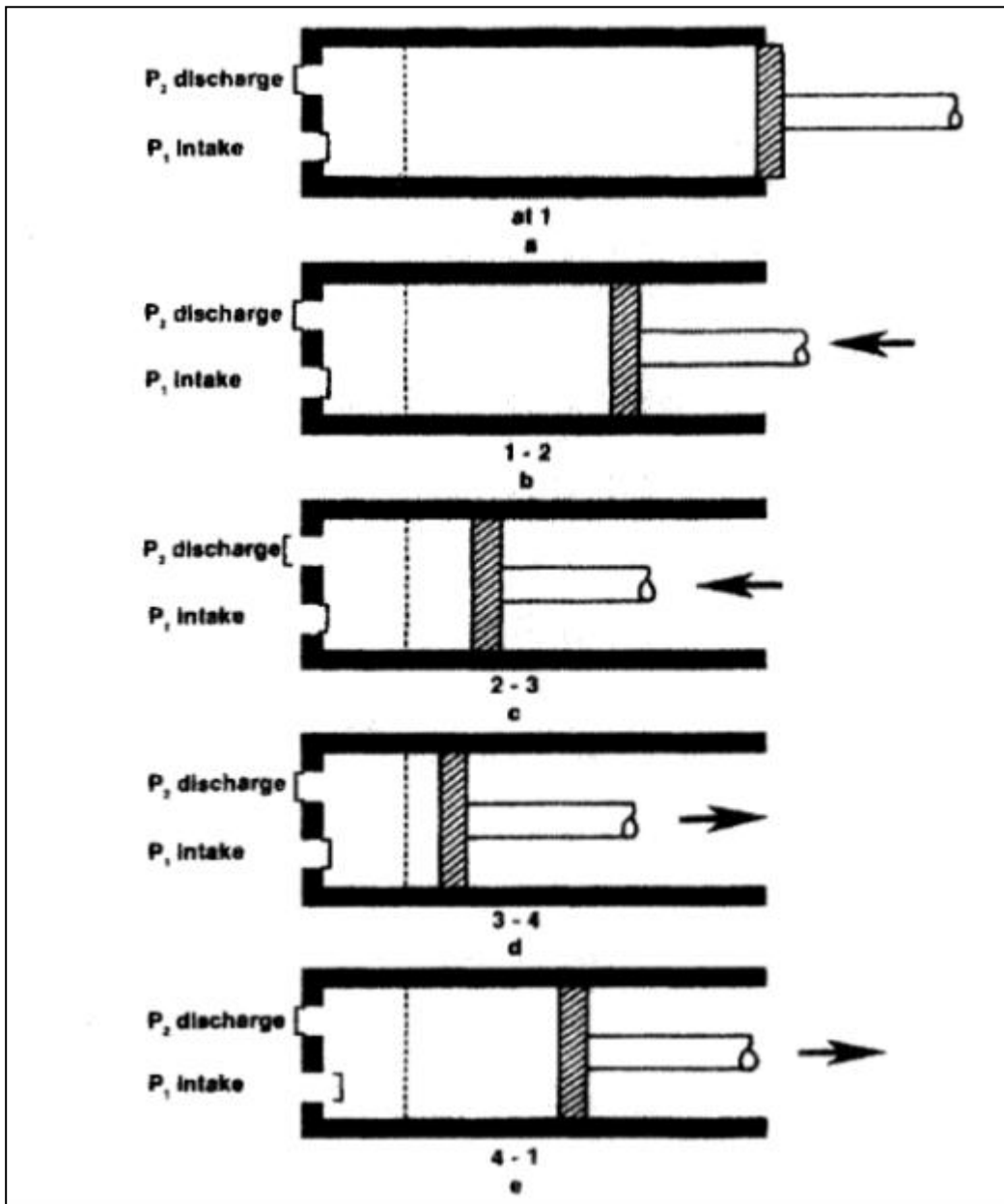
La figura 2 indica una curva ideal seguida, por una serie de ilustración que representa el movimiento del pistón del cilindro y la posición de la válvula.

**FIGURA 2.** Diagrama indicador Ideal



Fuente: Compressor Selection and Sizing .Roice. N. Brown segunda edición , 1987

**FIGURA 3.** Ciclos de Compresión del Compresor Reciprocante



Fuente: Compressor Selection and Sizing .Roice. N. Brown segunda edición, 1987

Cuando el cigüeñal da por completo la revolución, se dice que la compresión completa un ciclo. Para comenzar el ciclo, se refieren a la figura 3 (a) la ubicación donde el pistón es en el extremo inferior de la carrera (Punto Muerto Inferior) y es en el punto de ruta en el diagrama de indicador. En este punto, el cilindro es llenado por gas (presión P1), Tenga en cuenta que las válvulas están cerradas. En (b), el pistón ha empezado a moverse hacia la izquierda, Esta es la parte de compresión del ciclo y se ilustra por Sendero 1-2. Cuando el pistón alcanza el punto 2 en el indicador diagrama, la válvula de escape comienza a abrirse. La parte de descarga del ciclo se muestra en (c). Esto se muestra en el diagrama de 2-3 indicadores de trayectoria. Observe que la válvula de descarga está abierta durante este lapso, mientras que la válvula de admisión es cerrada. El gas se descarga a la presión de la línea de descarga P2. Cuando el pistón alcanza el punto 3, se ha recorrido hasta el extremo superior de su carrera (punto muerto superior centro). Físicamente, en este punto de la corrida, hay un espacio entre el pistón de la cara y la cabeza. Este espacio se traduce en un volumen atrapado y es llamado volumen muerto. A continuación en el ciclo, el pistón invierte la dirección y comienza la porción de expansión del ciclo, como se ilustra en (d) de la figura. Ruta 3-4 muestra esta porción del ciclo. Aquí, el gas contenido en el volumen de holgura, es re-expandido a la presión de admisión. Nótese que la descarga la válvula se ha cerrado, y la válvula de admisión aún sigue cerrada. En el punto 4, la expansión es completa y se abre la válvula de admisión. La porción de admisión del ciclo se muestra en (e). Esto está indicado por Sendero 4-1 en el diagrama de indicador.

### **3.1.1.2 Desplazamiento del Cilindro**

El cálculo del desplazamiento del cilindro es un procedimiento sencillo de geometría. Es el producto de tres factores, los cuales son: el pistón área, menos

del vástago, y el número de trazos en un momento dado. La ecuación es la siguiente:

$$\text{—————} \tag{1.1}$$

Donde,

Pd = Desplazamiento del pistón

St = Carrera del Embolo.

D = Diámetro del pistón.

N = Velocidad del compresor.

d = Diámetro del Vástago.

### 3.1.1.3 Eficiencia Volumétrica

Para determinar la capacidad real de entrada de un cilindro, el desplazamiento calculado debe ser modificado. Hay dos razones por las que la modificación es necesario. El primero es debido a la holgura en el extremo de la carrera del émbolo. Anteriormente en este capítulo, cuando el ciclo de compresión se ha descrito, una porción del indicador, Sendero 3-4, se conoce como la porción de expansión del ciclo. El gas atrapado en la zona de aclaramiento se expande y en parte vuelve a llenar el cilindro de tomar un poco de su capacidad. La siguiente ecuación refleja el efecto de expansión sobre la capacidad y se refiere como la teoría de la eficiencia volumétrica.

$$\tag{1.2}$$

Donde

$F$  = de descarga compresibilidad a la entrada.

$r_p$  = razón de presión

$c$  = porcentaje de holgura

$k$  = exponente isentrópico

El límite del valor teórico puede ser demostrado, sustituyendo cero la holgura el cual es un resultado con un volumen de eficiencia multiplicado por 1.00.

La segunda razón para la modificación del volumen desplazado es que en aplicación en el mundo real, el cilindro no alcanza el rendimiento volumétrico predicho por la ecuación (1.2) por lo tanto, se modifica, para incluir los datos empíricos. La ecuación que se utiliza aquí es el recomendado por el Aire Comprimido y Gas Instituto<sup>1</sup>, pero es un poco arbitraria, ya que no hay una ecuación universal. Hablando en términos prácticos, sin embargo, hay suficiente flexibilidad en las directrices para la ecuación para producir resultados razonables. El 1 .00 en la ecuación teórica se sustituye con .97 para reflejar que incluso con cero aclaramiento del cilindro no se llenará perfectamente. La variable  $L$  se añade al final para permitir el deslizamiento de gas más allá de los anillos de los pistones en varios tipos de construcción. Si, en el curso de hacer una estimación, un valor específico que se desea, utilice 0,03 para compresores lubricados y 0.07 para las máquinas no lubricadas. Estos son aproximaciones, y el valor exacto puede variar entre 0,02 y 0,03.

(1.3)

$$F = Z_2 / Z_1$$

(1.4)

---

<sup>1</sup>Compressed Air and Gas Hand Book, third Edition, New York, NY: <sup>1</sup> Compressed Air and Gas Hand institute, 1961.

La capacidad de entrada del cilindro se calcula por:

(1.5)

#### **3.1.1.4 Velocidad del Pistón**

Otro valor que se determina es la velocidad del pistón (PS). El pistón promedio velocidad puede ser calculado por:

(1.6)

La base para la evaluación de la velocidad del pistón varía a lo largo de la industria. Un intento de resolver los fundamentos se hará, en primer lugar, porque hay tantas configuraciones y formas de la vaivén del compresor, parece lógico que no hay límite de velocidad para el pistón ya que se aplicará en general a todas las máquinas. El fabricante se encuentra en desacuerdo con el usuario, ya que le gustaría mantener la velocidad alta y disminuir el tamaño del compresor, mientras que el usuario desea mantener la velocidad baja para los propósitos de fiabilidad. Como ocurre con tantos otros casos, el árbitro es la economía. Una razón obvia para limitar la velocidad es el costo de mantenimiento, Cuanto menor sea la velocidad del pistón, menor mantenimiento y la confiabilidad es mayor. La relación dada por la ecuación (1.1) que define el tamaño del cilindro. Por lo tanto, si la velocidad se reduce, disminuye la velocidad del pistón, entonces el diámetro del cilindro debe aumentar para compensar el desplazamiento perdido para Mantener la capacidad deseada. Como el tamaño del cilindro aumenta, también lo hace el costo del cilindro. No es difícil ver por qué el usuario y el fabricante son menos algo de un propósito transversal. Si el usuario requiere un servicio de alto grado de confiabilidad y que quiere mantener el cilindro y el anillo de desgaste, que debe ser consciente del aumento de costo. Para complicar el tema de la velocidad del

pistón, mirar a las ecuaciones 1.1 y 1.6. Tenga en cuenta el término ( $S_t$ ), La velocidad del émbolo puede ser controlado por una corta carrera, pero debido a la pérdida de desplazamiento, el diámetro y / o la velocidad debe ser aumentada, si la velocidad sólo se incrementa, todo el ejercicio académico como la velocidad del émbolo estará de regreso hasta el valor original. Sin embargo, el diámetro solo o tanto el diámetro y la velocidad se incrementa, el resultado neto puede ser una velocidad del pistón inferior. Otro factor que la velocidad del pistón afecta es la vida de la válvula, que disminuye con el aumento en el número de carreras y puede negar el aumento aparente en el costo de mantenimiento si no es adecuada. Parece que el ingeniero tratando de evaluar una oferta del compresor solo no puede ganar. Los diferentes puntos no son ofrecidos sólo para frustrar al usuario, sino que se dan para ayudar a mostrar que este es otro área que debe tener una evaluación completa. Todas las facetas de un problema deben ser considerados antes de una evaluación inteligente puede hacerse. Después de todas las declaraciones anteriores, parece muy difícil para seleccionar la velocidad del pistón. Para alguien sin experiencia directa, el siguiente se puede utilizar como un punto de partida. La compresión de la experiencia real de gas debe ser solicitada cuando hay un nuevo compresor considerando el mismo gas. Estos valores se aplican al tipo de proceso industrial de compresor con una construcción cilindro de doble efecto. Para los compresores horizontales con cilindros lubricados, el uso de 700 pies por minuto (fpm) y para cilindros no lubricados utiliza 600 pies por minuto. Para los compresores lubricados con verticales cilindros, utilice 800 pies por minuto y para cilindros no lubricados utiliza 700 pies por minuto. Otro factor a considerar es la velocidad relativa de rotación del compresor por el desgaste de la válvula. A menor velocidad, menor el número de ciclos de la válvula, lo cual contribuye a una mayor vida de la válvula. Una velocidad deseable se encuentra en el rango de 300 a 600 RPM.

### 3.1.1.5 Temperatura de Descarga

Mientras el cabezal no es normalmente un valor particularmente importante en la selección de un compresor recíprocante, se utiliza para la comparación con otro tipo de compresores, la ecuación 1.7 la ecuación para cabezal adiabático es definida por:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \quad (1.7)$$

La temperatura de descarga calculado reescribiendo se obtiene la siguiente ecuación:

$$T_2 = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \quad (1.8)$$

$T_1$  = Temperatura Absoluta de Admisión

$T_2$  = Temperatura Absoluta de Descarga

### 3.1.1.6 Potencia

La potencia por etapas puede ser calculada multiplicando el cabezal adiabático, por el peso del flujo, por la etapa.

$$(1.9)$$

Luego,

$$\frac{P}{Q_1} = \frac{P_2}{P_1} \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \quad (1.10)$$

Sustituyendo ( $P_1 Q_1$ ) en (wRT) ecuación en la 1.10

Work

(1.11)

Para ayudar al ingeniero en la realización de estimaciones, la curva de la Figura 4 da los valores de eficiencia  $v_s$  relaciones de presión. Los valores sobre la curva incluyen una eficiencia del 95% mecánica y una velocidad de válvula 3.000 pies por minuto. Tabla 1 y Tabla 2 se incluyen para permitir una corrección que debe hacerse a la potencia del compresor de la gravedad específica y la baja presión en la admisión. Estos se incluyen para ayudar ilustrar la influencia de sus factores para la potencia requerida. La aplicación de estos factores, para evaluar la eficiencia es arbitraria. Mientras que se reconoce que la eficiencia no es necesariamente el elemento afectado, el propósito es para modificar la potencia requerida por los criterios en la tabla.

La corrección de la eficiencia se logra esto. Estas correcciones son significativas para tasas de presión bajas.

**Tabla 1** Eficiencia Multiplicadora de la Gravedad Específica

	SG				
$r_p$	1.5	1.3	1,0	0,8	0,6
2	0.99	1	1,0	1.0	1.01
1.75	0.97	0.99	1,0	1.01	1.02
1.5	0.94	0.97	1,0	1.02	1.04

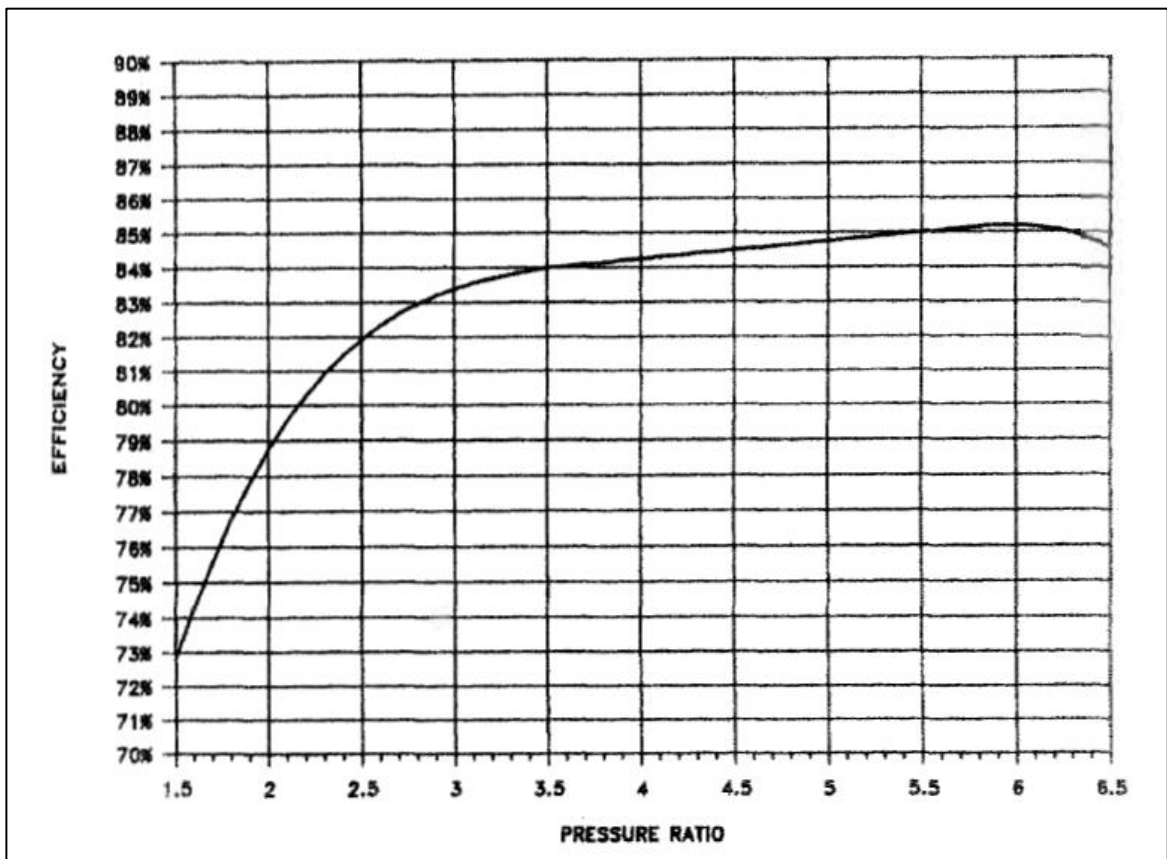
Fuente: Modificado por cortesía de gas procesador de asociación de proveedores, 1987

**Tabla 2** Eficiencia Multiplicadora para baja presión

$r_p$	Presión							
	10	14.7	20,0	40	60	80	100	150
3	0.990	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2.5	0.980	0.985	0.990	0.995	1,00	1,00	1,00	1,00
2	0.960	0.965	0.970	0.980	0.990	1,00	1,00	1,00
1.5	0.890	0.900	0.920	0.940	0.960	0.980	0.990	1,00

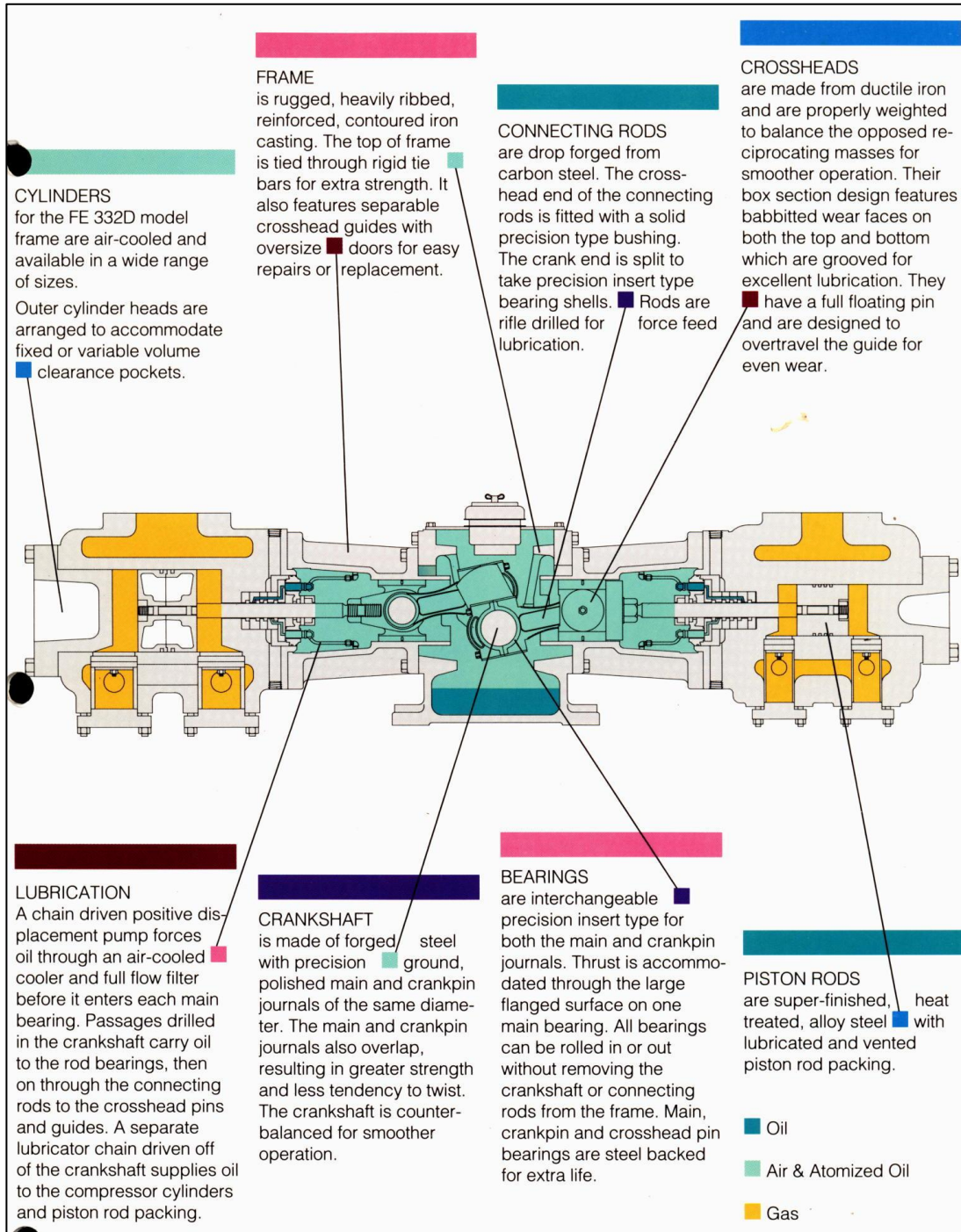
Fuente: Modificado por cortesía de gas procesador de asociación e Ingersoll Rand,19

**FIGURA 4.** Eficiencia del Compresor Reciprocante con una velocidad de la válvula 3000fpm.



Fuente: *Compressor Selection and Sizing* .Roice. N. Brown segunda edición, 1987

**FIGURA 5 Componentes del Compresor Reciprocante**



Fuente: Compresores: selección, uso y mantenimiento, Green, Richard W, edición 1999

### **3.1.2 Componentes del Compresor Reciprocante**

Los componentes del compresor Figura 5 son:

- Pistón
- Barra
- Cilindro
- Válvulas del cilindro
- Empaquetadura

#### **3.1.2.1 Pistón**

El pistón especificado por tamaño, diámetro y carrera, está hecho de hierro fundido, aluminio o acero forjado, según el tamaño y la presión de operación. El diseño y material del pistón variará considerablemente con la clase de compresor. Por lo general, la fundición de hierro se utiliza para construcción de pistones de poco diámetro y bajas velocidades, mientras que el aluminio se utiliza para pistones de diámetro grande y de alta velocidad.

Puede ser lubricado con aceite, o auto lubricado sin aceite. Tiene ranuras las cuales contienen los anillos que sellan la presión entre los dos extremos del pistón. Los anillos hechos en hierro fundido, bronce, teflón, carbón, o una variedad de material plástico; pueden ser de una pieza, o en 2 o 3 segmentos. Un resorte de expansión a veces se instala detrás o debajo del anillo para empujarlo contra la pared del cilindro. El tipo de anillo depende del tipo de gas y su característica de corrosión, y de la diferencia de presión entre los dos lados del pistón.

El número de anillos del pistón usualmente dependerá de esta diferencia de presión. Más anillos se requieren para más alta diferencia de presión.

El pistón está acoplado a una barra o vástago. Se desliza en la barra hasta que en ella encuentra un orillo o saliente. La barra sostiene el pistón mediante un perno, o serie de pernos.

### 3.1.2.2 Vástago

La barra o vástago, va acoplada al pistón en un extremo. El otro extremo se enrosca en la cruceta que une el pistón, por medio de la biela, con el motor de fuerza. Está hecha de acero o una aleación, dependiendo de la presión y corrosión del gas. La sección de la barra a través de la empaquetadura por lo general lleva una camisa o se recubre con un material endurecido con el fin de reducir el desgaste en esa porción.

**FIGURA 6.** Vástago de un Compresor Ariel



Fuente: Diego Barajas –Gabriel Ardila 2012

El tamaño de la barra es importante en el funcionamiento del compresor. Si es pequeño, la barra puede doblarse o soltarse durante una de las carreras del

pistón. Una barra grande, disminuye la cantidad de gas que puede manejar el compresor.

### 3.1.2.3 Biela

La biela (Figura 7) es el puente de enlace del pistón con el cigüeñal. Está ajustada a la cruceta mediante un pasador, y las caras internas están hechas de material especial, resistente, por lo general “babbitt”.

**FIGURA 7** Biela



Fuente: Diego Barajas –Gabriel Ardila 2012

### 3.1.2.4 Cruceta

Todos estos elementos, cruceta y biela (Figura 8), están bajo guarda, en el cárter o bastidor. Este último, puede ser de montaje propio, independiente al marco del compresor, o por el contrario, integrado. El tamaño del bastidor depende de la máquina, del número de cilindros de fuerza y potencia.

**FIGURA 8**Cruceta

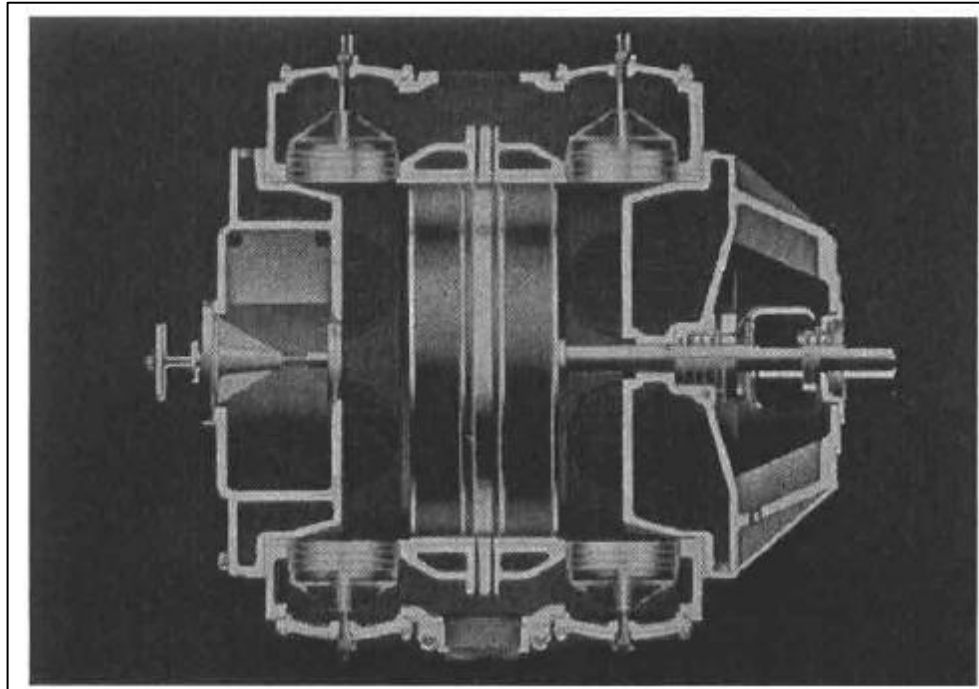


Fuente: <http://www.machining-center.com/products/Crossheads,2012>

### 3.1.2.5 Cilindro

El cilindro Figura 9, es fabricado de hierro fundido si opera a presión inferior a 1000 libras por pulgada cuadrada; y de acero en máquinas de alta presión. El cilindro opera a la presión determinada por la etapa de compresión en la cual presta servicio. Por lo general una camisa se inserta en el cilindro, especialmente si el gas es corrosivo. La camisa puede ser reemplazada si llega a corroerse o desgastarse, evitando reemplazar el cilindro completo. El cilindro lleva pasos o canales (chaqueta o camisa externa), para circulación de agua de enfriamiento.

**FIGURA 9**Cilindro



Fuente:Compressor Selection and Sizing .Roice. N. Brown segundaedición, 1987

### **3.1.2.6 Válvula**

Las válvulas del cilindro compresor son de tipo cheque o retención. El gas fluye en una dirección a través de la válvula. La válvula de succión abre durante la carrera de admisión, cuando la presión del interior del cilindro es menor que la presión en la línea de succión. Al iniciar el pistón, su carrera de compresión, la presión interna del cilindro excede la presión de la línea de succión, cerrando la válvula de succión. Cuando la presión excede la presión de la línea de descarga, la válvula de descargue abre. Las válvulas de succión y descarga usualmente son del mismo tipo, y pueden servir, en algunos equipos, en cualquier lado del cilindro: admisión

o descarga. En la descarga, el recorrido o posición de la válvula es hacia fuera parte inferior.

**FIGURA10** Válvulas



**Valves**

Designed for high efficiency and longer life, Energy Industries state-of-the-art 89 and 90 Series valves incorporate a non-metallic valve plate capable of withstanding piston velocities of up to 1250 FPM. A unique steel cushion plate enhances valve life. The seat and guard port areas are

balanced with increased free lift area to provide unsurpassed flow efficiency. Spring plates or coil springs are used to cushion the opening and closing of the valve plate. A slightly curved wafer plate located between the guard and cushion plate adds an additional dampening element and prevents sticking of plates in lubricated service. Valve

performance can be tailored to field conditions by varying the number of springs and/or adjusting the tension of spring plate fingers. Fine-tuning can lower pressure loss across the valve, increase output, and increase valve life.

**DISCHARGE VALVE ASSEMBLY**

- 1 Valve seat
- 2 Guide ring
- 3 Valve plate
- 4 Cushion plate
- 5 Closing springs
- 6 Wafer plate
- 7 Guard
- 8 Stud



**Energy Industries' Cylinders and Valves**

	Bore Range		Bore Range Increments		Valves Per Cylinder	Valve Model Designation	Maximum Working Pressure		Field Removable Liners	Cylinder Material
	Inches	mm	Inches	mm			PSIG	kPag		
FE 550/650/655/665 (Series 89)	3.0 - 3.75	76.2 - 95.2	.125	3.2	4	64 CET	4700	32,407	Yes	FS
	3.5 - 4.25	88.9 - 107.9	.25	6.3	4	64 CET	3600	24,822	Yes	FS
	4.5 - 5.25	114.3 - 133.3	.25	6.3	8	64 CET	2500	17,238	Yes	DI
	5.5 - 6.25	139.7 - 158.8	.25	6.3	8	75 CFT	2200	15,169	Yes	DI
	7.0 - 7.5	177.8 - 190.5	.50	12.7	4	127 CGT	1500	10,343	Yes	DI
	8.5 - 9.5	215.9 - 241.3	.50	12.7	4	148 CHT	1250	8,619	Yes	CI
	10.0 - 11.0	254.0 - 279.4	.50	12.7	8	127 CGT	1000	6,895	Yes	CI
	12.0 - 13.5	304.8 - 342.9	.50	12.7	8	148 CHT	660	4,551	Yes	CI
	14.0 - 16.5	355.6 - 419.1	.50	12.7	8	179 CKT	550	3,792	Yes	CI
	17.0 - 22.5	431.8 - 571.5	.50	12.7	12	179 CKT	250	1,724	Yes	CI
	23.5	596.9			12	179 CKT	250	1,724	No	CI
FE 332/FE 450 (Series 90)	**2.50 - 3.00	63.5 - 76.2	.25	6.3	4	H52 RX	2500	17,238	No	DI
	**3.25 - 3.75	82.5 - 95.3	.25	6.3	4	H60 RX	1725	11,894	No	DI
	4.00 - 4.50	101.6 - 114.3	.25	6.3	4	H70 RX	1850	12,756	No	DI
	4.75 - 5.50	120.6 - 139.7	.25	6.3	8	H60 RX	1750	12,066	No	DI
	5.75 - 6.50	146.0 - 165.1	.25	6.3	8	H70 RX	1140	7,860	No	DI
	6.75 - 7.50	171.4 - 190.5	.25	6.3	8	H79 RX	840	5,792	No	DI
	7.75 - 8.50	196.8 - 215.9	.25	6.3	8	H100 CGT	635	4,378	No	DI
	9.00 - 10.50	228.6 - 266.7	.50	12.7	8	H127 CGT	525	3,620	No	DI
	11.00 - 13.00	279.4 - 330.2	.50	12.7	8	H148 CHT	275	1,896	No	CI
	13.50 - 15.50	342.9 - 393.7	.50	12.7	8	H179 CKT	200	1,379	No	CI
	**6.00 - 6.50	152.4 - 165.1			4	H70 RX	1140	7,860	No	DI
	**2.75 - 3.25	69.8 - 82.5			1	H60 RX/86CD	1300	8,963	No	CI

\*\*available on FE450 Frame    \*\*Single Acting Step Cylinder (not available on FE450 frame)    Cylinder Material Key: DI = Ductile Iron    CI = Cast Iron    FS = Forged Steel material and specifications subject to change without notice.

Fuente: Compresores: selección, uso y mantenimiento, Green, Richard W, edición 1999

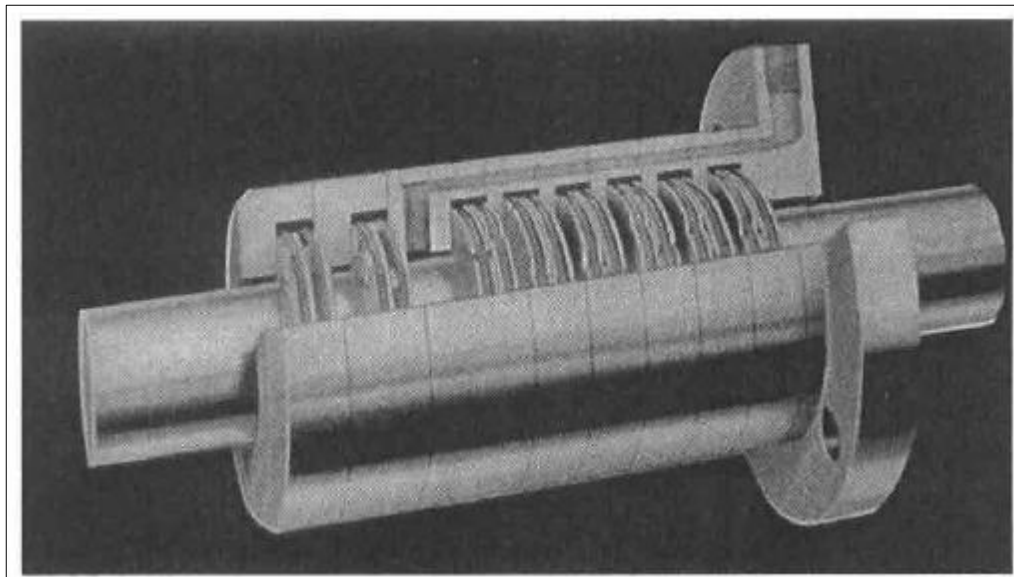
### 3.1.2.7 Packing

La empaquetadura va montada en la barra, en el lado de frente al bastidor. Sirve para sellar la presión dentro del cilindro respecto a la presión externa o atmosférica. Está contenida en la caja de empaques o prensa estopas. La caja contiene divisiones que sirven de contención a los empaques o anillos segmentados. El material de empaquetadura es de la misma clase usada en los anillos del pistón: hierro fundido, bronce, teflón, carbón o plástico.

El número de anillos depende de la diferencia de presión entre el lado interno del cilindro y la presión externa; más anillos son necesarios en los cilindros de alta presión.

La empaquetadura roza contra la barra del pistón, creando fricción y calor. Aceite lubricante es forzado en la empaquetadura para amortiguar esta fricción.

**FIGURA 11**Packing



Fuente:Compressor Selection and Sizing .Roice. N. Brown segunda edición,1987

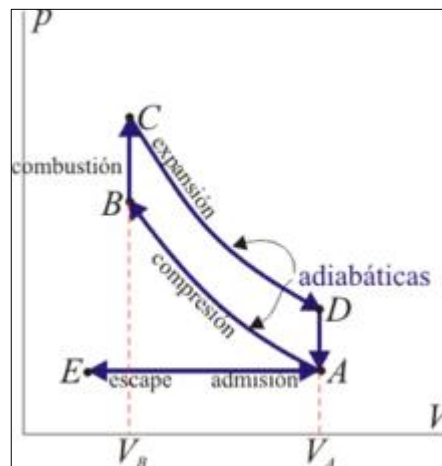
## 3.2 MOTOR A GAS

### 3.2.1 Funcionamiento de un Motor a Gas

Ciclos de tiempos del motor de combustión interna figura 12(motor OTTO):

- Admisión
- Compresión
- Potencia
- Escape

**FIGURA 12**Ciclo Otto



Fuente: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ciclo-otto.png?uselang=es>

#### 3.2.1.1 Admisión

La línea amarilla del gráfico P-V representa el tiempo de admisión. Al inicio de este tiempo el pistón se encuentra en el PMS (Punto Muerto Superior). En este momento la válvula de admisión se encuentra abierta y el pistón, en su carrera o movimiento hacia abajo va creando un vacío dentro de la cámara de combustión a medida que alcanza el PMI (Punto Muerto Inferior), ya sea ayudado por el motor

de arranque cuando se pone en marcha el motor, o debido al propio movimiento que por inercia le proporciona el volante una vez que ya se encuentra funcionando. El vacío que crea el pistón en este tiempo, provoca que la mezcla aire-combustible que envía el carburador (en el caso de motor WAUKESHA) o la inyección antes de la válvula de admisión penetre en la cámara de combustión.

### **3.2.1.2 Compresión**

Una vez que el pistón alcanza el PMI (Punto Muerto Inferior), el árbol de leva, que gira sincrónicamente con el cigüeñal y que ha mantenido abierta hasta este momento la válvula de admisión para permitir que la mezcla aire-combustible penetre en el cilindro, la cierra. En ese preciso momento el pistón comienza a subir comprimiendo la mezcla de aire y combustible que se encuentra dentro del cilindro. Este tiempo es representado por la línea azul de gráfico P-V. 30

### **3.2.1.3 Expansión**

La línea naranja representa el tiempo de expansión o potencia. Una vez que el cilindro alcanza el PMS (Punto Muerto Superior) y la mezcla aire-combustible ha alcanzado el máximo de compresión, salta una chispa eléctrica en el electrodo de la bujía, que inflama dicha mezcla y hace que se inflame. La fuerza de la inflamación obliga al pistón a bajar y ese movimiento rectilíneo se transmite por medio de la biela al cigüeñal, donde se convierte en movimiento giratorio y trabajo útil.

#### **3.2.1.4 Escape**

Por último la línea gris clara representa el tiempo de escape. El pistón, que se encuentra ahora de nuevo en el PMI después de ocurrido el tiempo de expansión, comienza a subir. El árbol de leva, que se mantiene girando sincrónicamente con el cigüeñal, abre en ese momento la válvula de escape y los gases acumulados dentro del cilindro, producidos por la inflamación del combustible, son arrastrados por el movimiento hacia arriba del pistón, atraviesan la válvula de escape y salen hacia la atmósfera por un tubo conectado al múltiple de escape.

### **3.2.2 Partes Fundamentales de un Motor a Gas**

Desde el punto de vista estructural, el cuerpo de un motor de explosión o de gasolina se compone de tres secciones principales Figura 13:

- Culata
- Bloque
- Cáster

#### **3.2.2.1 La Culata**

La culata constituye una pieza de hierro fundido (o de aluminio en algunos motores), que va colocada encima del bloque del motor. Su función es sellar la parte superior de los cilindros para evitar pérdidas de compresión y salida inapropiada de los gases de escape.

En la culata se encuentran situadas las válvulas de admisión y de escape, así como las bujías. Posee, además, dos conductos internos: uno conectado al múltiple de admisión (para permitir que la mezcla aire-combustible penetre en la cámara de combustión del cilindro) y otro conectado al múltiple de escape (para

permitir que los gases producidos por la combustión sean expulsados al medio ambiente). Posee, además, otros conductos que permiten la circulación de agua para su refresco.

La culata está firmemente unida al bloque del motor por medio de tornillos. Para garantizar un sello hermético con el bloque, se coloca entre ambas piezas metálicas una “junta de culata”, constituida por una lámina de material de amianto o cualquier otro material flexible que sea capaz de soportar, sin deteriorarse, las altas temperaturas que se alcanzan durante el funcionamiento del motor.

### **3.2.2.2 El Bloque**

En el bloque están ubicados los cilindros con sus respectivas camisas, que son barrenos o cavidades practicadas en el mismo, por cuyo interior se desplazan los pistones. Estos últimos se consideran el corazón del motor.

La cantidad de cilindros que puede contener un motor es variable, así como la forma de su disposición en el bloque. Existen motores de uno o de varios cilindros, aunque la mayoría de los coches o automóviles utilizan motores con bloques de cuatro, cinco, seis, ocho y doce cilindros, incluyendo algunos coches pequeños que emplean sólo tres.

El bloque del motor debe poseer rigidez, poco peso y poca dimensión, de acuerdo con la potencia que desarrolle.

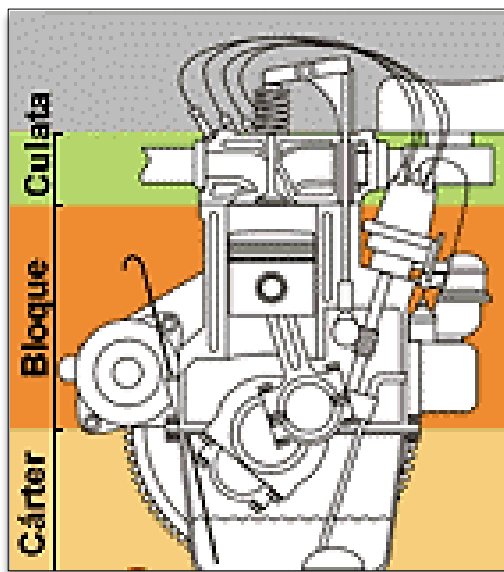
### **3.2.2.3 Carter**

El cárter es el lugar donde se deposita el aceite lubricante que permite lubricar el cigüeñal, los pistones, el árbol de levas y otros mecanismos móviles del motor.

Durante el tiempo de funcionamiento del motor una bomba de aceite extrae el lubricante del cárter y lo envía a los mecanismos que requieren lubricación.

Existen también algunos tipos de motores que en lugar de una bomba de aceite emplean el propio cigüeñal, sumergido parcialmente dentro del aceite del cárter, para lubricar “por salpicadura” el mismo cigüeñal, los pistones y el árbol de levas.

**FIGURA 13** secciones principales de un motor



Fuente: Diego Barajas – Gabriel Ardila ,2012

### 3.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El CBM o Mantenimiento Basado en Condición es una filosofía predictiva, que no es más que el monitoreo de uno o varios parámetros de un activo físico para determinar su estado y determinar si está en un funcionamiento correcto, o si está empezando a mostrar señales de una falla.

La forma más correcta de realizar el análisis de resultados de una máquina específica, no se basa tanto en datos del fabricante, pues éste muestra comportamientos estándares bajo condiciones específicas. Por lo que se debe realizar la toma de muestras periódicas, las cuales mostrarán el comportamiento real de la máquina, que dependerá de las condiciones ambientales, régimen de trabajo, modo de operación, entre otros factores que determinan su comportamiento normal.

Determinado el comportamiento “en sitio” de la maquinaria con un historial de datos, se puede marcar lo que se conoce como línea base, es decir los parámetros que se consideran normales, y de los cuales se parte para determinar una falla, pues cuando la máquina comienza a alejarse del comportamiento “normal” se puede sospechar que un proceso de falla ha iniciado.

Hay muy poca relación entre el tiempo que el activo físico ha estado en servicio y cuan probable es que falle. Por lo que se puede decir que la mayor parte de modos de falla no se relacionan con la edad, pero la mayoría de ellos dan algún tipo de advertencia o señal de que se está en proceso de falla, o la misma está por ocurrir. De aquí que si se puede determinar cual es la señal física de dicha advertencia, se puede intervenir para no llegar a la falla que detenga o destruya el equipo.

### **3.3.1 Técnicas Predictivas**

Las técnicas predictivas más relevantes para equipos mecánicos son:

- Análisis de Vibraciones
- Análisis de Lubricantes

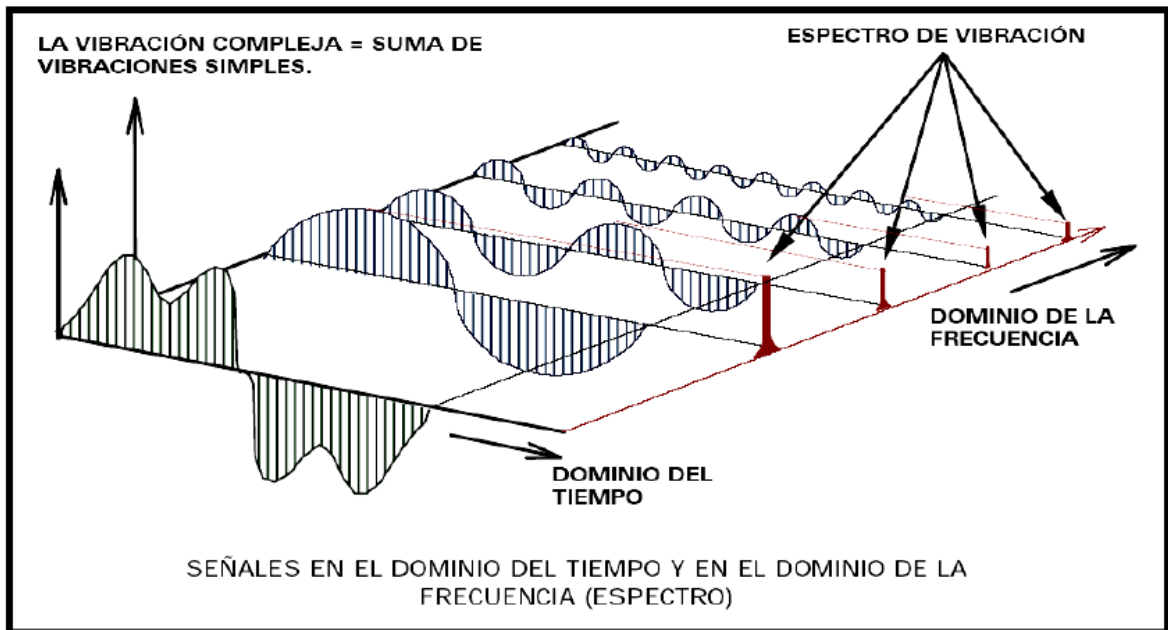
### **3.3.2 Análisis De Vibraciones**

Cuando los ordenadores llegaron a ser un instrumento ampliamente usado, se tuvo la capacidad para recoger datos de vibración de banda estrecha, o espectros de vibración. Un espectro de vibración separa la vibración recogida en pequeños rangos de frecuencia.

Fue precisamente el matemático francés Jean Baptiste Fourier (1768 – 1830) quien encontró la forma de representar una señal compleja en el dominio del tiempo por medio de series de curvas sinusoidales con valores de amplitud y frecuencia específicos.

Entonces lo que hace un analizador de espectros que trabaja con la transformada rápida de Fourier es capturar una señal desde una máquina, luego calcula todas las series de señales sinusoidales que contiene la señal compleja y por último las muestra en forma individual en el eje X de la frecuencia. En la siguiente ilustración de tres dimensiones puede notarse claramente la señal compleja (en color verde), capturada desde una máquina. A dicha señal se le calculan todas las series de señales sinusoidales en el dominio del tiempo (vistas en azul) y por último se muestra cada una en el dominio de la frecuencia (vistas en rojo). La figura siguiente muestra una señal en el dominio del tiempo y su correspondiente en el dominio de la frecuencia.

**FIGURA 14** Señales en el Dominio del Tiempo y en el Dominio de la Frecuencia



Fuente: Tutorial de Vibraciones para Mantenimiento Mecánico; A-Maq S.A,2007

### 3.3.3 Análisis de Aceites

Los aceites en las máquinas cumplen además de la función refrigerar las partes esenciales, sirve de lubricación evitando el contacto metal con metal. A pesar de ello, en el lubricante se depositan cantidades ínfimas de los metales que se encuentran desgastándose en un proceso inevitable.

El aceite entendido como lubricante y utilizado para lubricar las partes móviles de las máquinas se extrae del Petróleo mediante un proceso llamado Destilación Fraccionada. O lo que es lo mismo, mediante el proceso de refinación del petróleo en las refinerías. La industria de la refinación tiene como finalidad obtener del petróleo la mayor cantidad posible de productos de calidad bien determinada, que van desde los gases ligeros, como el propano y el butano, hasta las fracciones más pesadas, fuel-oil y asfaltos, pasando por otros productos intermedios como las gasolinas, el gasoil y los aceites lubricantes.

La variedad de los aceites lubricantes son proporcionales a la variedad de uso y aplicaciones que tienen las máquinas en la industria. Así por ejemplo se encuentran aceites para Cajas de Engranajes, para Motores de Combustión Interna, para Sistemas Hidráulicos, etc. Todo ello depende de las propiedades físicas y químicas del aceite. De hecho, para aumentar las propiedades de un aceite se añaden aditivos.

Los aditivos son elementos o compuestos químicos que elevan la eficiencia de los aceites ante el medio agreste donde trabajan, por lo que deben soportar altas temperaturas, arrastrar consigo elementos contaminantes que pueden provocar corrosión, servir como selladores o barrera de impedimento a la contaminación, por ejemplo, de agua. En resumen, se espera mucho de los aceites como aliados en la tarea ingente de prolongar las partes móviles de las máquinas y la máquina en sí.<sup>2</sup>

#### **4 SELECCIÓN DE COMPONENTES PARA DETERMINAR EL OVERHAUL**

---

<sup>2</sup>Tesis reciprocantes CBM, Leonardo Andrés Astudillo Loayza, 2007

#### 4.1 Matriz Cualitativa

Se plantea una matriz de valoración cualitativa donde se darán valores entre 1 y 2 para indicar el grado de implicación del componente en un overhaul de acuerdo a la duración que acarrea su reemplazo; la decisión se tomará de acuerdo a la siguiente tabla 3:

**Tabla 3** Valoración para determinar el Overhaul

%Duración para reemplazo de componente	Valoración	Decisión
>50%	2	Ejecutar Overhaul
<50%	1	Reemplazar/reparar componente

Fuente: Diego Barajas – Gabriel Ardila 2012

Para lo cual se tiene la siguiente (Tabla 4) composición para el motor y compresor:

**Tabla4** Componentes del Motor y Compresor

MOTOR-SISTEMAS
Ignición
Lubricación
Combustible
Refrigeración principal
Refrigeración Auxiliar
Sistema de arranque
Culatas
Bloque

COMPRESOR-SISTEMAS
Cilindros
Lubricación Forzada
Lubricación compresor
Cigüeñal
Carter

Cigüeñal
Turbocargador
Carter

Fuente: Diego Barajas – Gabriel Ardila ,2012

La valoración del motor se hace teniendo en cuenta que según recomendación del fabricante CAT se sigue el siguiente listado de actividades que tiene una duración estimada de 26 días para el mantenimiento overhaul que ellos llaman INFRAME (Tabla 5)

**Tabla 5** actividades INFRAME

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>DURACION</b>
<b>MANTENIMIENTO OVERHAUL INFRAME CAT 3612</b>	26 días
<b>ALISTAMIENTO</b>	1 día
Toma de datos del equipo en operación	12
Recibir el motor operando	12
Chequear aislamiento del motor	12
Ubicación Herramientas y areas de trabajo	12
Drenar refrigerante del motor	1
Drenar aceite del motor	4
<b>DESEMSAMBLE</b>	7 días
Desmontar guardas	2
Medir Alineamiento	2
Desmontar respiraderos	3
Desmontar líneas de instrumentación del motor	6
Desmontar tapas de válvulas	4
Desmontar manifolds y líneas de gas y agua	2
Desmontar filtro de combustible	2
Desmontar base de tapa de válvulas	3
Desmontar varilla impulsadora válvula admisión gas.	3
Desmontar tren de balancines y evaluarlos	4
Desmontar precámaras de combustión	2
Desmontar cuerpo precámaras	1
Desmontar bujías	2
Desmontar el módulo de ignición	6
Desmontar recubrimientos	4
Desmontar múltiple de escape	3
Desmontar bypass gases escape	4

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>DURACION</b>
Desmontar lubricador, válvula y silenciador de aire	4
Desmontar motor de arranque y tuberías accesorios	4
Desmontar tapas de tren de impulsadores	4
Desmontar culatas	4
Desmontar tren de impulsadores	4
Desmontar tapas motor y guardas damper	6
Desmontar espárragos de culatas (de requerirse)	5
Desmontar bomba de aceite	2
Desmontar acumulador y filtro de aceite	4
Desmontar bomba de prelubricación	4
Desmontar bombas de agua	4
Soltar las tapas de biela	3
Desmontar enfriador de aceite	2
Desmontar / instalar turbocargadores	4
Desmontar choke admisión aire	3
Desmontar aftercooler y accesorios	6
Desmontar oilcooler y accesorios	5
Desmontar placas espaciadoras	8
Desacoplar motor (de requerirse)	0
Desmontar reguladores temperatura aceite	4
Desmontar precleaner aire	2
Soltar y remover dámper	4
Desmontar regulador de presión de gas	2
Remover sellos del cigüeñal	10
Desmontar conjuntos biela pistón y cilindro de potencia. Verificar estado del bloque de mínimo dos cilindros del motor.	11
Inspeccionar / reemplazar camisas de cilindros	5
Remover casquetes de biela	2
Remover segmentos ejes de levas	6
Remover módulo sensor presión aire –combustible	1
Remover cableados, sensores, CIS, buffer, junction box, arnés	8
<b>EVALUACION TECNICA DE COMPONENTES</b>	<b>2,5 días</b>
Limpieza bloque y carter	4
Limpieza de líneas del motor de arranque y vaso lubricador	3
Medición y evaluación de componentes	12
Cambio de precamaras	4
Evaluación espárragos culata	6
Cambiar tubing, y demás accesorios	4

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>DURACION</b>
Inspeccion/Limpieza/Purga/Ajuste del sistema hidráulico	4
Inspeccionar caja de distribución	2
Inspección/Cambio de los sensores de la unidad	8
<b>REPARACIONES Y CAMBIO DE COMPONENTES</b>	<b>3,5 días</b>
Reparar/reemplazar damper	6
Reparar/reemplazar bomba prelubricación	4
Reparar/reemplazar motor arranque	7
Reparar/reemplazar caja de termostatos aceite	3
Reparar/reemplazar caja de termostato agua	5
Reparar/reemplazar Bypass gases escape	5
Reparar/reemplazar bomba hidráulica (actuador HYDRAX)	4
Reparar/reemplazar Choke admisión aire	4
Reparar/reemplazar regulador de presión de gas	4
Reparar/reemplazar válvula de admision / corte de gas	4
Reparar/reemplazar / cambiar wastegate	6.5
Reparar/reemplazar bombas de agua	8
Reparar/reemplazar bomba de aceite	6
Mantenimiento aftercoolers	4
Mantenimiento OilCoolers	5
Cambiar actuador gas combustible	2
Cambio casquetes de biela	8
Cambio bujes arboles de levas	10
Cambio de casquetería de biela	9
Montar arboles de levas	10
Cambiar actuador Bypass gases escape	3.7
Reconstrucción y calibración del varillaje de los actuadores	12
Cambiar extensiones de bujias y bujías	4
Cambiar Neddlevalves	3
Cambiar transformadores	5
Cambiar filtros de aire, aceite, gas combustible, hidráulico,	2.3
Cambiar válvulas cheque de las precamaras	4
<b>ARMADO MOTOR</b>	<b>7,42 días</b>
Instalar cajas de filtros de aceite	4
Instalar caja de termostatos de agua y aceite	4
Instalar tapas bloque superior, laterales y refrigeración	3
Instalar espárragos culatas	3
Montar aftercooler	8
Instalar oilcooler	6

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>DURACION</b>
Instalar sellos de cigüeñal	8
Montar volante y dámper	10
Montar camisas	18
Armar conjunto biela pistón	10
Instalar conjunto biela pistón	16
Montar y torquear culatas reconstruidas	2
Instalar válvula de admisión de gas	3
Montar bujías, extensiones, transformadores, sensores de combustión	3
Montar tren de impulsadores	9
Montar Bujías	8
Montar turbocargadores	9
Montar múltiple de escape	4
Montar Bypass gases escape	3
Instalar líneas de gas	2
Montar regulador de presión de gas	4
Montar módulo sensor presión aire –combustible	7
Instrumentación	12
Montar tren de balancines	6
Montar mecanismo de válvulas	5
Montar precámaras	8
Instalar múltiple de agua	4
Montar ductos de aire y escape	4
Instalar choke admisión aire	2
Montar recubrimientos	2
Montar bombas de agua y aceite	2
Instalar acumulador y filtro de aceite (actuador Hydrax)	2
Montar bomba de prelubricación	5
Instalar bomba hidráulica (actuador Hydrax)	6
Instalar tanque hidráulico (actuador Hydrax)	4
Instalar actuadores electrónicos (Hydrax)	2.5
Montar motor de arranque y tubería	2
Montar lubricador, válvula y silenciador de aire	4.7
Montar tapas ejes de levas	1
Montar cableados	10
<b>AJUSTES Y ALISTAMIENTO FINAL</b>	<b>1,5 días</b>
Cambio de : aceite motor y sistema hidráulico y refrigerante )	4
Calibrar motor y parametrizado de control	4
Verificar/Calibrar válvulas admisión, escape, gas combustible	6.1

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>DURACION</b>
Montar tapas de culatas, tapas y accesorios en general	3
Montar guardas de acople	1
Comprobar alineación con Optalign en frío y caliente	2
Tomar deflexión de cigüeñal y pruebas de compresión	2
Medir juego axial	2
Verificación y pruebas de simulación de señales del sistema de control	4
Realizar limpieza a la unidad	4
<b>ARRANQUE Y PRUEBAS MOTOR</b>	3 días
Arranque motor	6
Pruebas motor de acuerdo al protocolo del fabricante	12

Fuente: Diego Barajas – Gabriel Ardila, 2012

Teniendo en cuenta el anterior listado de actividades se genera la siguiente tabla de componentes que requieren cambio en el Overhaul con su correspondiente duración (Tabla 6):

**Tabla 4** Actividades de Overhaul

<b>SISTEMA</b>	<b>COMPONENTE</b>	<b>EVALUACION</b>	<b>DURACION (horas)</b>	<b>% DURACION</b>
Cigüeñal	Cigüeñal	2	150	94%
Bloque cilindro	Camisas	2	120	75%
Cigüeñal	Biela	2	120	63%
Bloque cilindro	Anillos de pistón	2	100	63%
Bloque cilindro	Pin pistón	2	100	63%

<b>SISTEMA</b>	<b>COMPONENTE</b>	<b>EVALUACION</b>	<b>DURACION (horas)</b>	<b>% DURACION</b>
Bloque cilindro	Pistón	2	90	60%
Culata	Culata	2	80	50%
Bloque cilindro	Casquete de biela	1	20	6%
Cigüeñal	Casquete bancada	1	20	6%
Potencia	Eje de levas	1	20	6%
Cigüeñal Turbo	Acople Turbo	1	12	4%
Lubricación Combustible	OilCooler Intercooler	1	10	3%
Culata	Precamara	1	10	2%
Principal refrigeración Auxiliar refrigeración	JacketCooler AuxCooler	1	10	2%
Principal refrigeración	Termostatos	1	8	2%
ignición	Transformadores	1	6	2%
ignición	Cableado	1	6	2%
ignición	Extensión	1	6	2%
ignición	Harness de ignición	1	6	2%
ignición	Bujías	1	6	1%

<b>SISTEMA</b>	<b>COMPONENTE</b>	<b>EVALUACION</b>	<b>DURACION (horas)</b>	<b>% DURACION</b>
Auxiliar refrigeración	Bomba	1	4	2%
Auxiliar refrigeración	Termostato	1	4	2%
Combustible	Shut-off Valve	1	4	2%
ignición	Módulo de ignición	1	4	2%
Lubricación	Bomba	1	4	2%
Lubricación	Bomba prelubricación	1	4	2%
Lubricación	PumpReliefValve	1	4	2%
Lubricación	Sellos	1	4	2%
Lubricación	Tubería	1	4	2%
Lubricación	Termostato	1	4	2%
Principal refrigeración	Bomba	1	4	2%
Combustible	Medidor líquido	1	2	1%
Combustible	Regulador	1	2	1%
Principal refrigeración	Sellos y empaque	1	2	1%
Auxiliar refrigeración	Seals/Gaskets	1	1	0%
Combustible	Filtro	1	1	0%
Sistema de	Motor de	1	1	0%

<b>SISTEMA</b>	<b>COMPONENTE</b>	<b>EVALUACION</b>	<b>DURACION (horas)</b>	<b>% DURACION</b>
arranque	arranque			
Sistema de arranque	Lubricador	1	1	0%
Auxiliar refrigeración	Medidor baja presión	1	0,5	0%
Auxiliar refrigeración	Medidor alta presión	1	0,5	0%
Auxiliar refrigeración	Medidor de bajo nivel	1	0,5	0%
Auxiliar refrigeración	Medidor temperatura alto	1	0,5	0%
Auxiliar refrigeración	Medidor temperatura bajo	1	0,5	0%
Combustible	Medidor de temperatura	1	0,5	0%
Combustible	Analizador combustible	1	0,5	0%
Combustible	Filtro de aire	1	0,5	0%
Combustible	Medidor de presión	1	0,5	0%
Lubricación	Medidor presión aceite	1	0,5	0%
Lubricación	Medidor nivel de aceite	1	0,5	0%
Lubricación	Medidor temperatura	1	0,5	0%

SISTEMA	COMPONENTE	EVALUACION	DURACION (horas)	% DURACION
	aceite			
Lubricación	Condición de aceite	1	0,5	0%
Lubricación	Filtro	1	0,5	0%
Lubricación	Strainer	1	0,5	0%
Principal refrigeración	Medidor de alta presión	1	0,5	0%
Principal refrigeración	Medidor bajo nivel	1	0,5	0%
Principal refrigeración	Medidor temperatura alta	1	0,5	0%
Principal refrigeración	Medidor temperatura baja	1	0,5	0%
Principal refrigeración	Medidor baja presión	1	0,5	0%

Fuente: Diego Barajas – Gabriel Ardila, 2012

Se califica con 2 a los componentes para los cuales su reemplazo individual implique más del 50% de la duración total del trabajo OverhaulInframe. De esta manera este estudio se centrará en la determinación del estado técnico de los componentes calificados con 2 a las 47000 hrs de operación del equipo.

**Tabla 5**Componentes Dominantes para Realizar el Overhaul

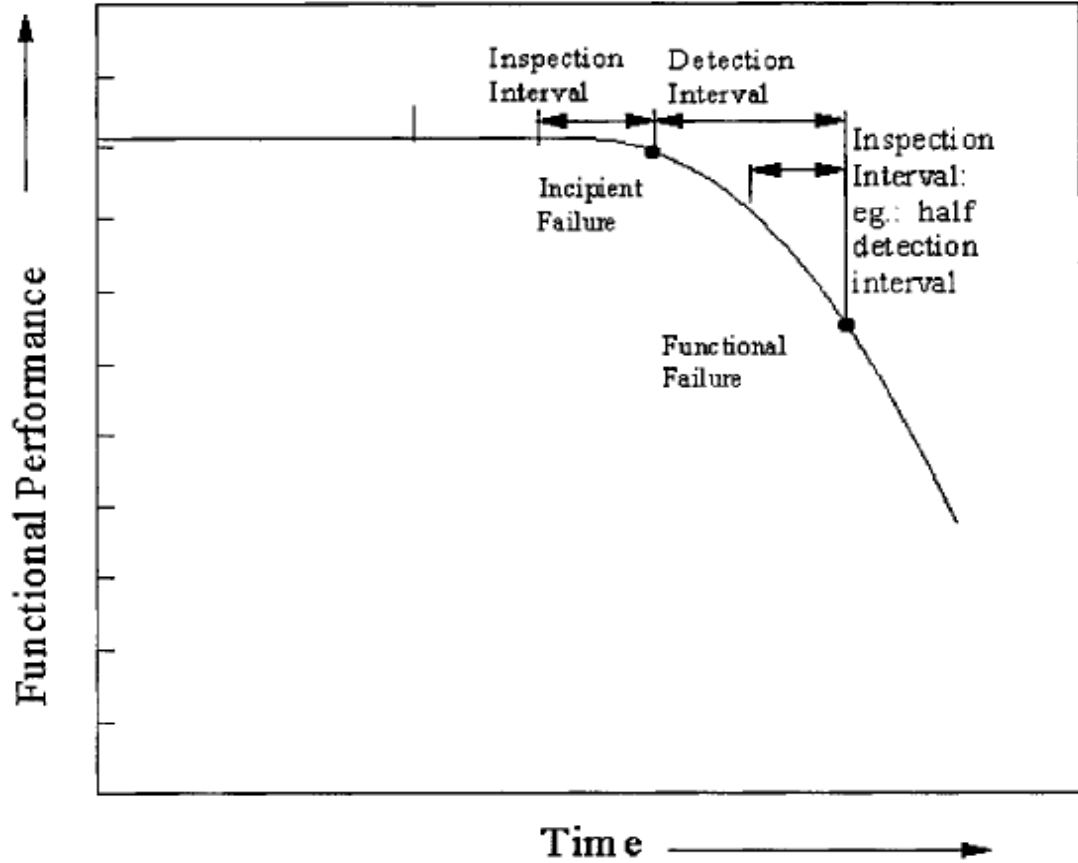
<b>SISTEMA</b>	<b>COMPONENTE DOMINANTE</b>	<b>EVALUACION</b>	<b>DURACION(horas)</b>	<b>% DURACION</b>
Cigüeñal	Cigüeñal	2	150	110%
Bloque cilindro	Camisas	2	120	75%
Cigüeñal	Biela	2	120	63%
Bloque cilindro	Anillos de pistón	2	100	63%
Bloque cilindro	Pin pistón	2	100	63%
Bloque cilindro	Pistón	2	90	60%
Culata	Culata	2	80	50%

Fuente Diego Barajas – Gabriel Ardila, 2012

Estos componentes que son los seleccionados en el motor y que a las 50000 hrs se cambian, reparan o inspeccionan se plantea que a las 47000 hrs se realice una evaluación del estado de estos para en este momento determinar si se programa el servicio OverhaulInframe.

Este planteamiento se fundamenta en la curva P-F donde apoyándonos en la deducción que en un escenario con condiciones normales de operación los componentes seleccionados no han llegado a la falla funcional a las 50000 hrs como lo muestra el siguiente grafico (Figura 15).

**FIGURA 15** Curva P-F



Fuente: Maintenance Excellence, John D. Campbell, Andrew K.S Jardine, 2001 New York. Marcel Dekker, Inc

Por lo que a las 47000 hrs de operación se puede deducir si según sus tendencias de desgaste y variables técnicas se debe programar su reemplazo. Este planteamiento también se soporta en la siguiente recomendación extraída del manual de operación y mantenimiento de Caterpillar, donde recomienda el cambio de culatas cuando se haya superado cierto valor de la medida de la proyección de los vástagos de las válvulas de la culata. ( Figura 16)

**FIGURA 16** Recomendación de Fabricante

“Planifique el reacondicionamiento del extremo superior a medida que la proyección de los vástagos de válvula se aproxima al límite máximo. Realice el reacondicionamiento del extremo superior cuando la proyección de los vástagos de válvula haya aumentado un total de 2.3mm (0.09pulg). **No permita que la recesión de las válvulas sobrepase este límite.** La cabeza de la válvula se puede romper. Esto causará daños severos en la cámara de combustión y el turbocompresor”.

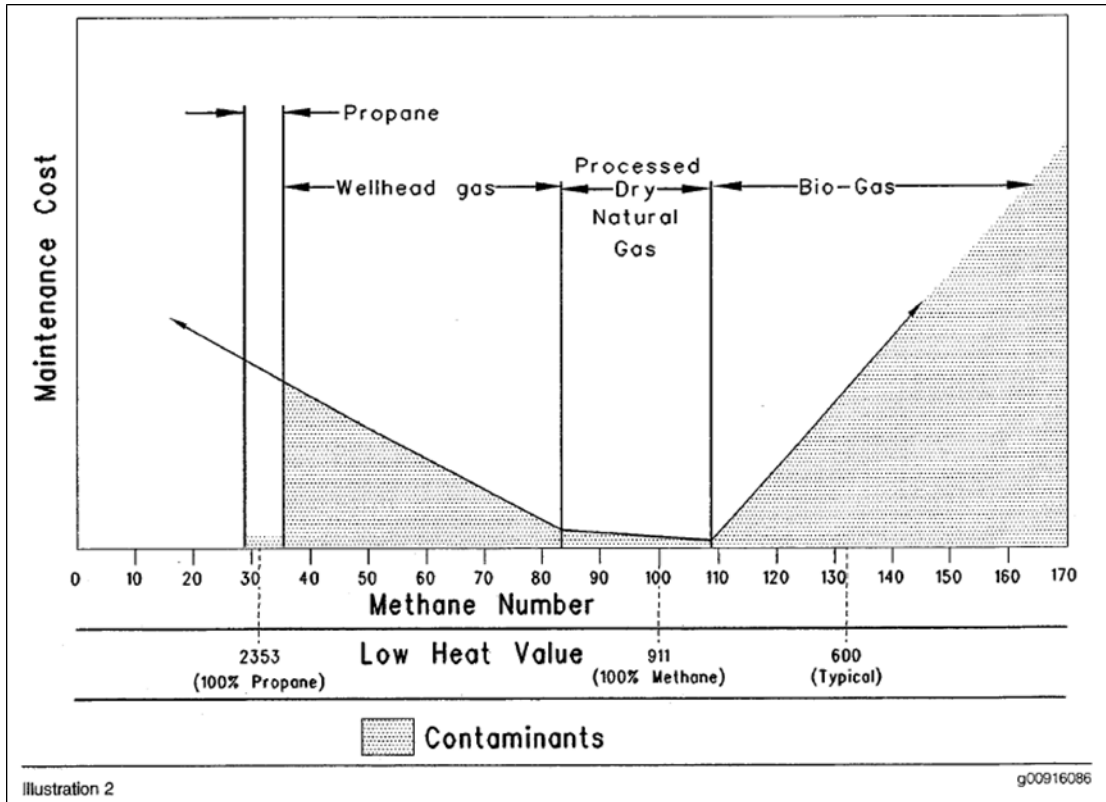
Fuente: Manual De Operación y Mantenimiento de Caterpillar 3612.1988

Se plantea 47000 hrs teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- El motor se ha pre-lubricado y post-lubricado correctamente
- Ha operado dentro de los porcentajes de carga permitidos por el fabricante
- El combustible usado es gas natural seco
- Se le han realizado los mantenimientos rutinarios recomendados por el fabricante

Estas recomendaciones son soportadas en los diferentes catálogos del equipo tal como se muestra a continuación, donde se muestra el impacto en los costos al usar diferentes especificaciones de gas combustible (Figura 17)

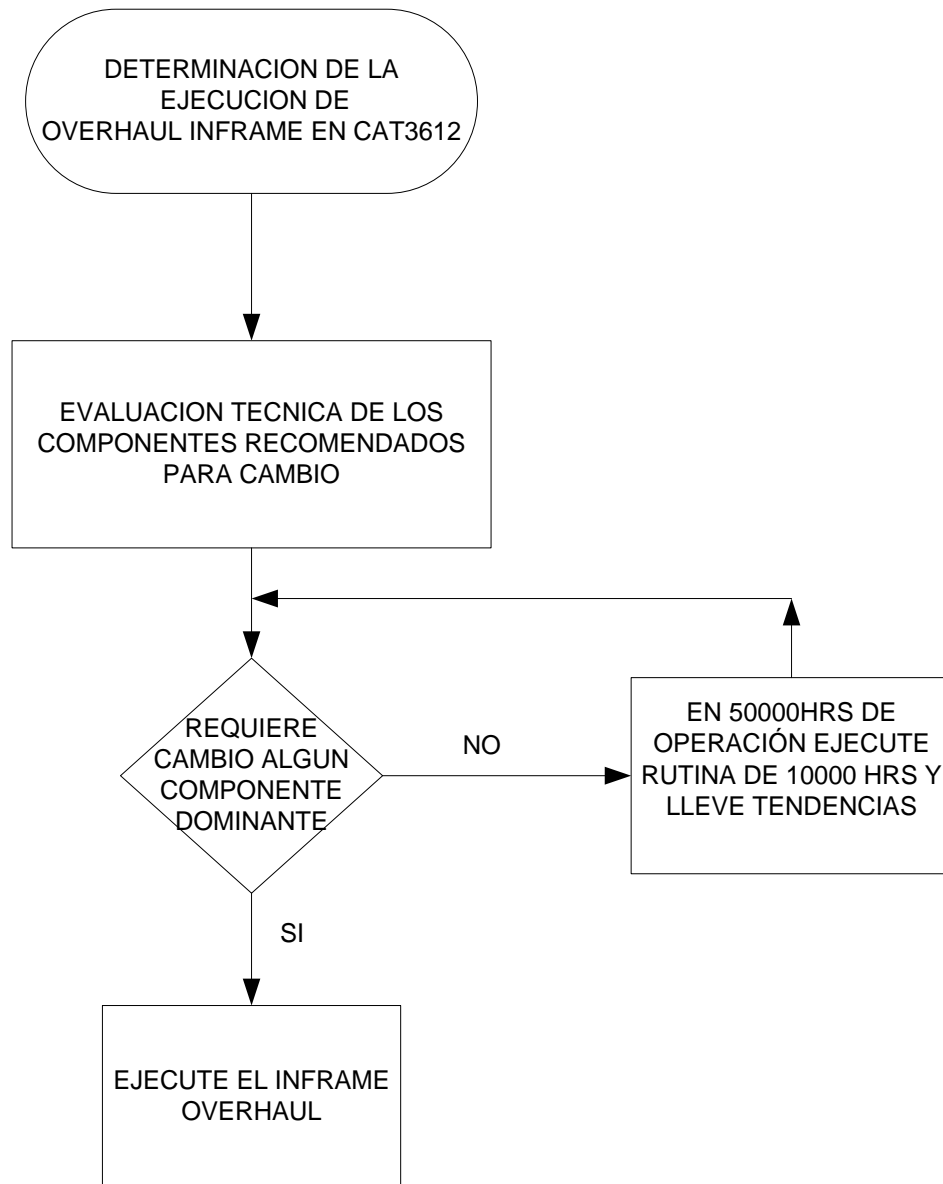
**FIGURA 17**Costo de Mantenimiento con respecto al Gas



Fuente: BU6127-07 Maintenance Management Schedule, 1988

Para la evaluación de los componentes se llevara a cabo a través de la metodología descrita en el siguiente diagrama de flujo (Figura 18):

**FIGURA 18** Diagrama de Flujo



Fuente: Diego Barajas – Gabriel Ardila 2012

Variables que se medirán a los componentes dominantes para la toma de decisión de la ejecución del trabajo Overhaul y sus rangos

## 4.2 Componentes Seleccionados para Motor

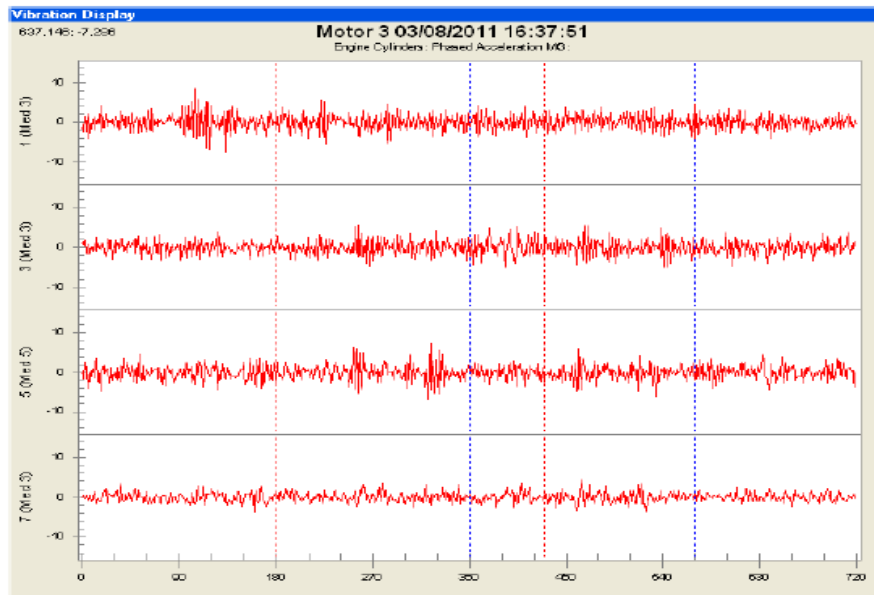
### 4.2.1 Cigüeñal

#### 4.2.1.1 Vibraciones

Indicación de desgaste de alarma de 10 a 12 G en valor global el rms. El análisis de vibraciones en FFT tanto para motores, no se poseen valores referenciales comunes para ninguna unidad motriz, por lo que en ocasiones el diagnóstico se centra en tendencias y/o en valores genéricos de alarma; Al tener valores promedios de operación de un equipo, se podrá conocer de manera general la condición real de cada componente (en este caso las bancadas), permitiendo enfocar los diagnósticos a componentes específicos con vibraciones por encima de los límites promedios considerados como normales.

En la figura siguiente, se puede observar un ejemplo para la representación a través de una línea azul de los niveles de vibración (Figura 19).

**FIGURA19** Cojinetes de bancada en aceleración



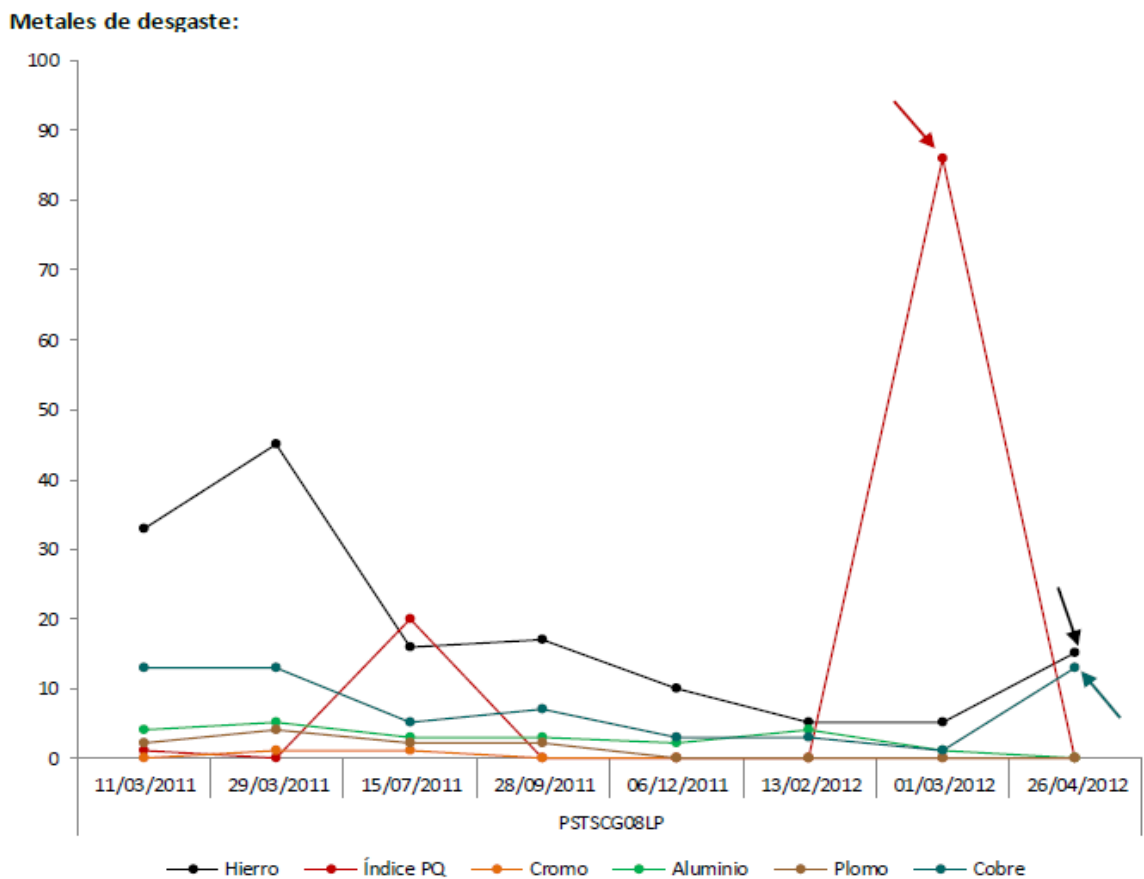
Fuente : informe de vibraciones de BAF Ltda, Agosto 3 de 2011

#### 4.2.1.2 Análisis de Aceite

Hierro, cobre, aluminio, estaño: tendencias del desgaste (velocidad de producción de partículas ppm/hrsoper), indicación de desgaste se da por las ratas de cambio.

Un incrementó de que supere el sustancialmente el promedio de los metales en el aceite indica inmediatamente que las otras técnicas deben ser revisadas en detalle para tomar una decisión integral. (Figura 20)

**FIGURA 20**Tendencia del Aceite



Fuente: Diego Barajas – Gabriel Ardila 2012

### 4.2.1.3 Medición de Deflexión

Para realizar la prueba se quita la puerta de acceso lateral (s) en ese punto. Se instala un indicador de deflexión del dial del cigüeñal como un Stauret # 696 o su equivalente a través de los contrapesos. En motores en línea sólo hay un contrapeso y un 1-8 THD perno X 6 pulgadas debe estar instalado en el eje motor para soportar el extremo libre del indicador de esfera. El motor (y el equipo accionado) debe ser prelubricado. Se coloca en cero el indicador en la parte superior de la carrera. Se gira el motor y se para en los 90 °. Puesto que la varilla impide la rotación completa del cigüeñal cuando la herramienta está instalada la dirección de rotación, debe ser invertida para volver a la posición inicial de partida. Dejar constancia de los 90 °, señalar de nuevo en la dirección de retorno. Utilice la Tabla 6 para registrar los datos:

**Tabla 6** Registro de Deflexión

Deflection Values					
	1:00	3:00	6:00	9:00	11:00
Clockwise	0.000 inch				
Counter clockwise					

Fuente: Gas Engines Application and Installation Guide, 1998

Si el comienzo y el final en la posición 1:00 son superiores a  $\pm 0,0005$  pulgadas, los valores de deflexión deberán repetirse. Para determinar si la desviación está dentro de especificaciones use la siguiente tabla:

**Tabla 7** Evaluación de deflexión

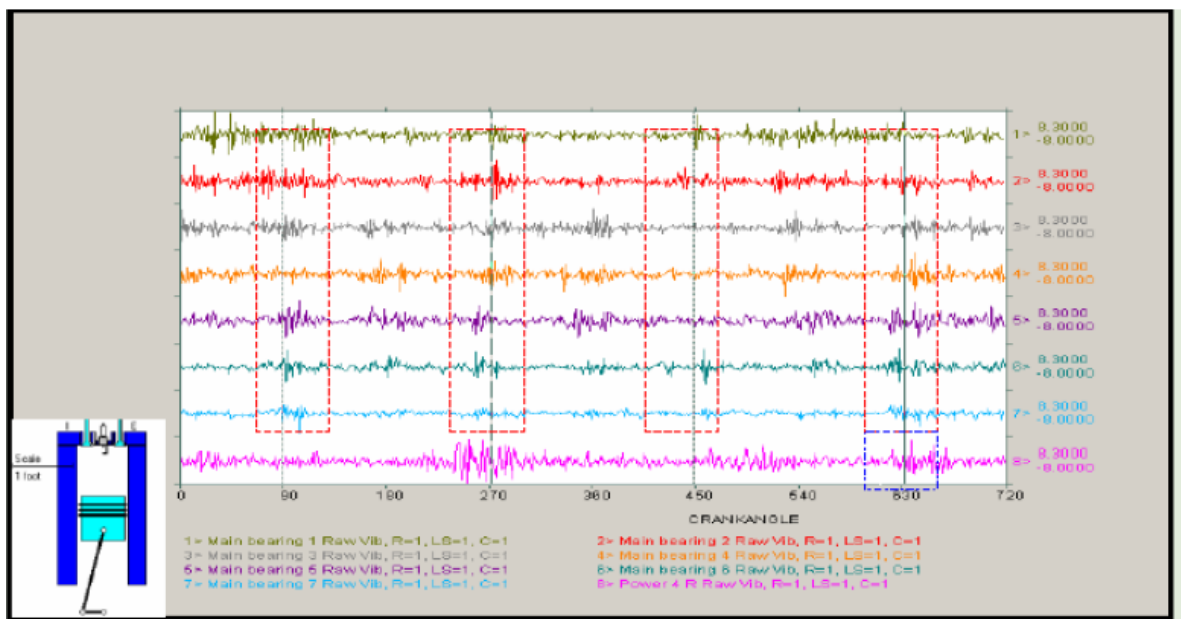
Deflection Evaluation				
	1:00 – 6:00	Tolerance	3:00 – 9:00	Tolerance
Face (Axial)		$\pm 0.0016$ inch		$\pm 0.0016$ inch
	<input type="checkbox"/> Acceptable	<input type="checkbox"/> Unacceptable	<input type="checkbox"/> Acceptable	<input type="checkbox"/> Unacceptable

Fuente: Gas Engines Application and Installation Guide, 1998

## 4.2.2 Camisas

El desgaste presentado en las camisas, se evidencia por mostrar ruidos en identificables en vibración de baja frecuencia, que se presentan principalmente en 90°, 270°, 450° y 630°, es decir cuando el pistón está pasando por la mitad de la camisa. La siguiente gráfica muestra problemas de camisas.

**FIGURA 21** Problemas Asociado a Camisas en Gráfico de Vibración



Fuente: Tesis Implantación del sistema de mantenimiento basado en la condición aplicado a equipos reciprocantes de las instalaciones de REPSOL-YPF del bloque 16. Año 2007

Inspección con videoscopio: a través de este método es posible conocer si hay pulido de las paredes de las camisa, arañazos o depósitos.

#### **4.2.2.1 Análisis de aceites**

Hierro: tendencias del desgaste (velocidad de producción de partículas ppm/hrsoper), indicación de desgaste se da por las ratas de cambio

Índice PQ indica la severidad del desgaste porque permite conocer la presencia de partículas magnéticas de gran tamaño tiene medida condenatoria cuando >20

Cromo: tendencias del desgaste (velocidad de producción de partículas ppm/hrsoper), indicación de desgaste se da por las ratas de cambio

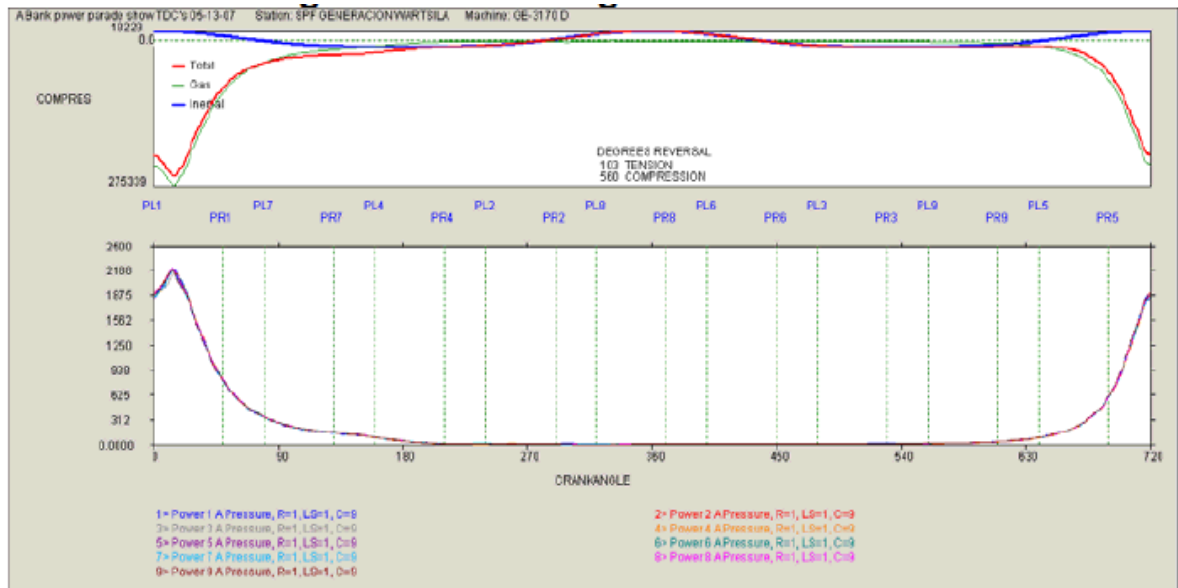
Nitración: Valor normal 2-4 ab/cm permisible hasta 20 condenable mayor a 20

#### **4.2.3 Biela**

##### **4.2.3.1 Cargas Sobre La Biela**

Para el caso del gas este nunca invierte la carga, pues siempre se encuentra comprimiendo a la biela, mientras que las fuerzas inerciales necesariamente deben invertir su carga dos veces, ya que es un motor donde los pistones realizan dos giros por ciclo. (Fuente: Tesis Implantación del sistema de mantenimiento basado en la condición aplicado a equipos reciprocantes de las instalaciones de REPSOL-YPF del bloque 16. Año 2007)

**FIGURA 22** Cargas sobre la biela



Fuente: Tesis Implantación del sistema de mantenimiento basado en la condición aplicado a equipos reciprocantes de las instalaciones de REPSOL-YPF del bloque 16. Año 2007

#### 4.2.3.2 Análisis de Aceite

Hierro, cobre, aluminio, estaño: tendencias del desgaste (velocidad de producción de partículas ppm/hrsoper), indicación de desgaste se da por las ratas de cambio. Un incremento de que supere el sustancialmente el promedio de los metales en el aceite indica inmediatamente que las otras técnicas deben ser revisadas en detalle para tomar una decisión integral.

Anillos de pistón.

Análisis de aceites.

Hierro: tendencias del desgaste (velocidad de producción de partículas ppm/hrsoper), indicación se da por las ratas de cambio.

Índice PQ indica la severidad del desgaste porque permite conocer la presencia de partículas magnéticas de gran tamaño tiene medida condensatoria cuando >20

Cromo: tendencias del desgaste (velocidad de producción de partículas ppm/hrsoper), indicación se da por las ratas de cambio.

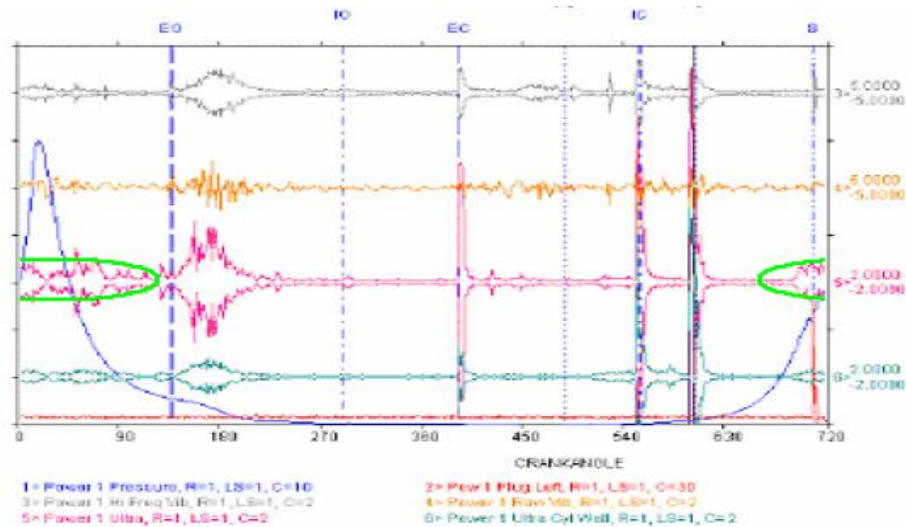
Nitración.

Valor normal 2-4 ab/cm permisible hasta 20 condenable mayor a 20.

#### 4.2.3.3 FUGA DE COMPRESIÓN (BLOW – BY)

La fuga de compresión o “blow – by” es lo que se le puede identificar desde los 630° hasta antes de la salida de los gases de escape, debido a que en esta zona, el cilindro está en carrera de compresión y seguidamente en carrera de potencia, por lo que las elevadas presiones pueden hacer que cierta cantidad de gases escapen por los anillos hacia el cárter (figura 23)

**FIGURA 23** Representa la Evidencia de Pase de Gases al Cárter

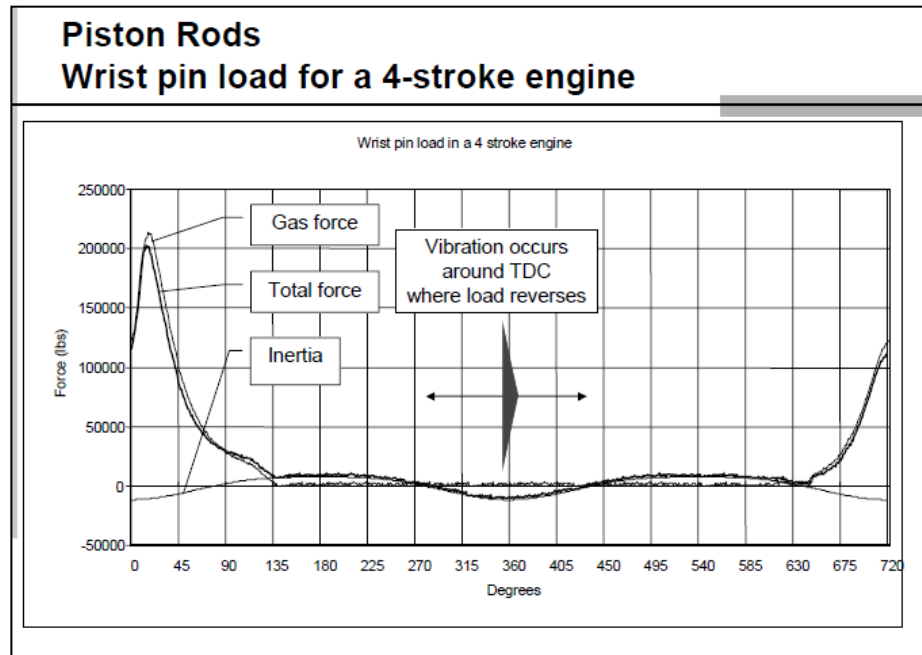


Fuente: Tesis Implantación del sistema de mantenimiento basado en la condición aplicado a equipos reciprocantes de las instalaciones de REPSOL-YPF del bloque 16. Año 2007

#### 4.2.4 Pin Pistón

Para la evaluación del pin del pistón se revisa el defecto Wrist pin que es el juego del pin del pistón al buje de biela que se da cerca al punto muerto superior (TDC)

**FIGURA 24** Gráfica Wrist Pin



Fuente : GMRC 2003 GAS MACHINERY CONFERENCE SHORT COURSE: BASIC ENGINE & COMPRESSOR ANALYSIS TECHNIQUES. CURSO DYNALCO

##### 4.2.4.1 Análisis de aceite

Hierro: Se analiza tendencias del desgaste (velocidad de producción de partículas ppm/hrsoper), indicación se da por las ratas de cambio.

Cobre: Se analiza tendencias del desgaste (velocidad de producción de partículas ppm/hrsoper), indicación se da por las ratas de cambio.

Estaño: Se analiza tendencias del desgaste (velocidad de producción de partículas ppm/hrsoper), indicación se da por las ratas de cambio.

#### **4.2.5 Pistón**

##### **4.2.5.1 Análisis de Aceite**

Hierro: Se analiza tendencias del desgaste (velocidad de producción de partículas ppm/hrsoper), indicación se da por las ratas de cambio.

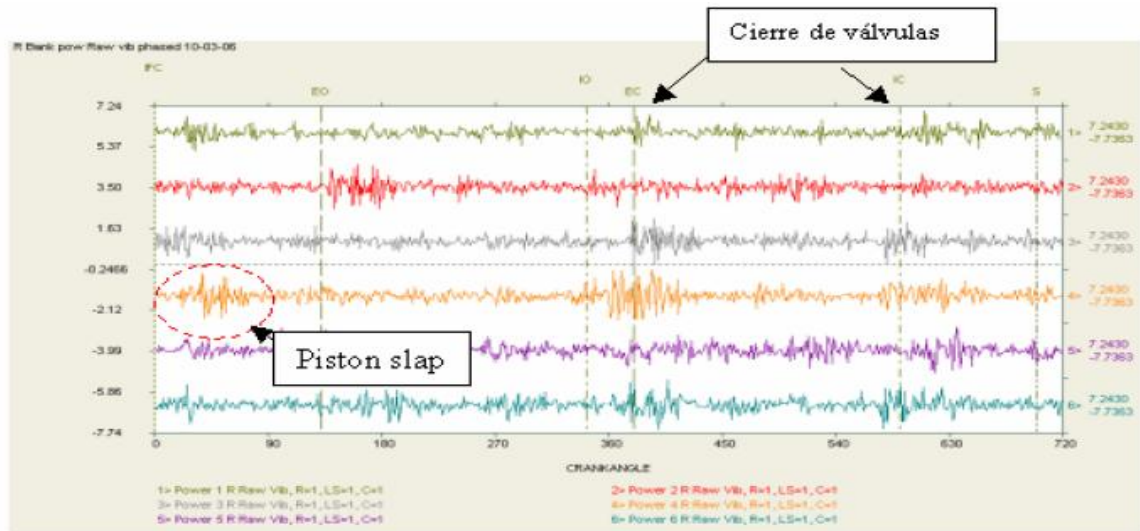
Cobre: Se analiza tendencias del desgaste (velocidad de producción de partículas ppm/hrsoper), indicación se da por las ratas de cambio.

Estaño: Se analiza tendencias del desgaste (velocidad de producción de partículas ppm/hrsoper), indicación se da por las ratas de cambio.

##### **4.2.5.2 Pistón SLAP**

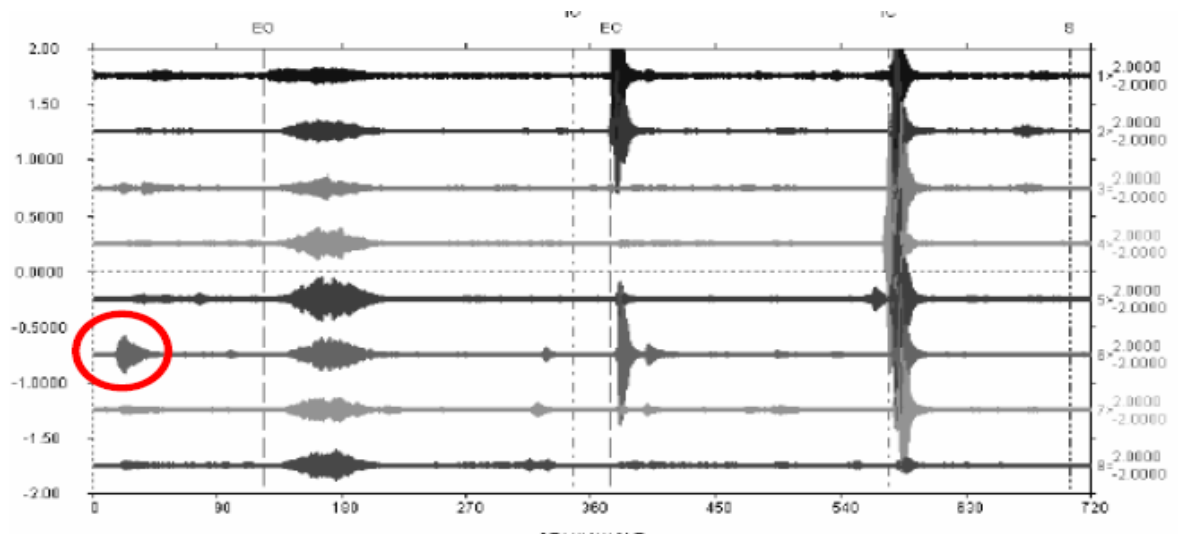
A través de este análisis se puede determinar si la falda del pistón le está pegando a la camisa, se manifiesta 45 grados después del punto muerto superior.

**FIGURA 25** Representación del fenómeno en vibración sin filtro de frecuencia.



Fuente: Tesis Implantación del sistema de mantenimiento basado en la condición aplicado a equipos reciprocantes de las instalaciones de REPSOL-YPF del bloque 16. Año 2007

**FIGURA 26** Representación del fenómeno en ultrasonido



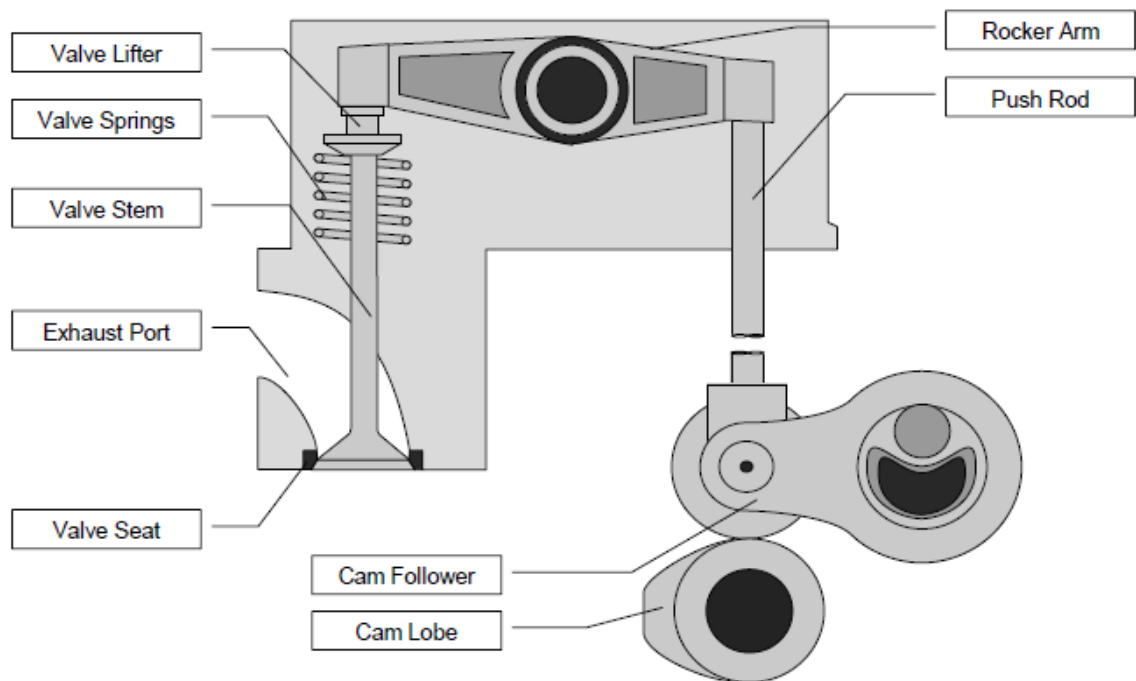
Fuente: Equipos reciprocantes de las instalaciones de REPSOL-YPF del bloque 16. Año 2007

## 4.2.6 Culata

### 4.2.6.1 Medida de recesión

Esta es la medida con la cual el fabricante recomienda que es determinante el cambio de culatas, la cual indica cuanto se han desgastado las válvulas y los asientos, esta medición se lleva a cabo cada 2000 y una vez a superado el 90% de su límite máximo deberá tomarse cada 500 horas según recomendaciones de fabricante. La medida máxima de recesión 0.09 pulgadas y una vez haya superado este valor se debe realizar el cambio o reparación de las culatas para evitar fallas catastróficas de válvulas

**FIGURA 27** Montaje Representativo de Válvula



Fuente : GMRC 2003 GAS MACHINERY CONFERENCE SHORT COURSE:  
BASIC ENGINE & COMPRESSOR ANALYSIS TECHNIQUES. DYNALCO  
CONTROLS

#### 4.2.6.2 Inspección con videoscopio

A través de este método es posible conocer el desgaste de las válvulas así como conocer si estas tienen algún tipo de depósitos en los asientos o en las caras

### 4.3 Componentes Seleccionados para Compresor

#### 4.3.1 Matriz Cualitativa

Se plantea una matriz de valoración cualitativa donde se darán valores entre 1 y 2 para indicar el grado de implicación del componente en un overhaul de acuerdo a la duración que acarrea su reemplazo; la decisión se tomará de acuerdo a la siguiente tabla

**Tabla 8** Valoración para determinar el Overhaul

%Duración para reemplazo de componente	Valoración	Decisión
>50%	2	Ejecutar Overhaul
<50%	1	Reemplazar/reparar componente

Fuente: Diego Barajas – Gabriel Ardila 2012

Para lo cual se tiene en la siguiente tabla los componentes a reemplazar o diagnosticar en el trabajo overhaul

**Tabla 9**Componentes a Diagnosticar

<b>Cilindro</b>	<b>Lubricación forzada</b>	<b>Cigüeñal</b>
Pistón	Bomba	
Anillo de pistón	Tubing	Casquete bancada
Barra	OilSupply	Biela
Válvulas de succión	DNFT	Casquete de biela
Válvulas de descarta	Bloque de distribución	Cadena
Rascadores de Aceite		Engranajes
Packing Cruceta		Buje de biela

Fuente: Diego Barajas – Gabriela Ardila 2012

A continuación se muestra el listado de actividades a desarrollar de acuerdo a la recomendación de fabricante

**Tabla 10**listado de actividades COMPRESOR ARIEL JGC4

<b>MANTENIMIENTO OVERHAUL A COMPRESOR ARIEL JGC4</b>	<b>7 días</b>
Aislamiento de la unidad	1 hora
Toma metrología antes del OVH	0,75 días
Metrología a casqueteria de biela y bancada	4 horas
Toma de Juego axial del cigüeñal y metrología a cadena de bomba	2 horas
Cambio de componentes de acuerdo a metrología	4 horas
Desmontaje de conjuntos conjunto piston-barra, cruceta, VV'S compresoras	2 días
Desmontaje cruceta, pistón-barra y bolsillos CIL	4 horas

<b>MANTENIMIENTO OVERHAUL A COMPRESOR ARIEL JGC4</b>	<b>7 días</b>
1	
Desmontaje cruceta, pistón-barra y bolsillos CIL 2	4 horas
Desmontaje cruceta, pistón-barra y bolsillos CIL 3	4 horas
Desmontaje cruceta, pistón-barra y bolsillos CIL 4	4 horas
Desmontaje de botellas de succión	4 horas
Desmontaje Cilindro 1	6 horas
Desmontaje Cilindro 2	6 horas
Desmontaje Cilindro 3	6 días
Desmontaje Cilindro 4	6 horas
Cambio de cruceta 1	2,5 horas
Cambio de cruceta 2	2,5 horas
Cambio de cruceta 3	2,5 horas
Cambio de cruceta 4	2,5 horas
Montaje Cilindro 1	10 horas
Montaje Cilindro 2	10 horas
Montaje Cilindro 3	10 horas
Montaje Cilindro 4	10 horas
Montaje de botellas de succión	4 horas
Montaje de pistones, barras, pocket y Packings 1 y 2	5 horas
Montaje de pistones, barras, pocket, Packings 3 y 4	5 horas
Ajustar claros de pistón 1 y 2	4 horas
Ajustar claros de pistón 3 y 4	4 horas
Toma metrología después OVH	0,63 días
Tomar juego axial y radial de casquete biela	1 hora
Toma de juego axial y radial de cigüeñal	1 hora
Toma rodrunout y tolerancia de cruceta	3 horas
Montaje de Válvulas compresoras Cil 1 y 2	2 horas
Montaje de Válvulas compresoras Cil 3 y 4	2 horas
Cambios de componentes sistemas de lubricación forzada	8 horas
Acoplar máquina	4 horas
Prelubricación de la máquina	0,25 horas
Verificación funcionamiento de sistema lubricación forzada	0,25 horas

<b>MANTENIMIENTO OVERHAUL A COMPRESOR ARIEL JGC4</b>	<b>7 días</b>
Verificación hermeticidad y presurización	0,25 horas
Pruebas en vacío con equipo impulsado	0,5 horas
Pruebas con carga	8 horas

Fuente: Diego Barajas – Gabriel Ardila 2012

Al realizar el estudio de tiempos del trabajo Overhaul para el compresor se tienen que los componentes dominantes para la decisión de la ejecución del servicio son que en la siguiente tabla tienen:

**Tabla 11 Actividad para ejecución de Overhaul**

<b>Actividad</b>	<b>Duración</b>	<b>% Duración</b>	<b>Evaluación</b>
<b>Overhaul Compresor</b>	<b>7 días</b>	<b>100%</b>	<b>2</b>
Casquetes de bancada Casquete de biela Bujes de biela Cigüeñal	5 días	71%	2
Cilindros	5 días	71%	2
Cruceta Pistón anillos Barra packing	2.5 días	36%	1
Bomba Tubing OilSupply DNFT Bloque de distribución	2 días	28%	1

Fuente: Diego Barajas – Gabriel Ardila 2012

## **4.4 Componentes Seleccionados para Motor**

### **4.4.1 Casquete de Bancada, Biela y Cigüeñal**

#### **4.4.1.1 Aceite**

Hierro, cobre, aluminio, estaño : se analiza por tendencias del desgaste (velocidad de producción de partículas ppm/hrsoper), la recomendación se da por las ratas de cambio

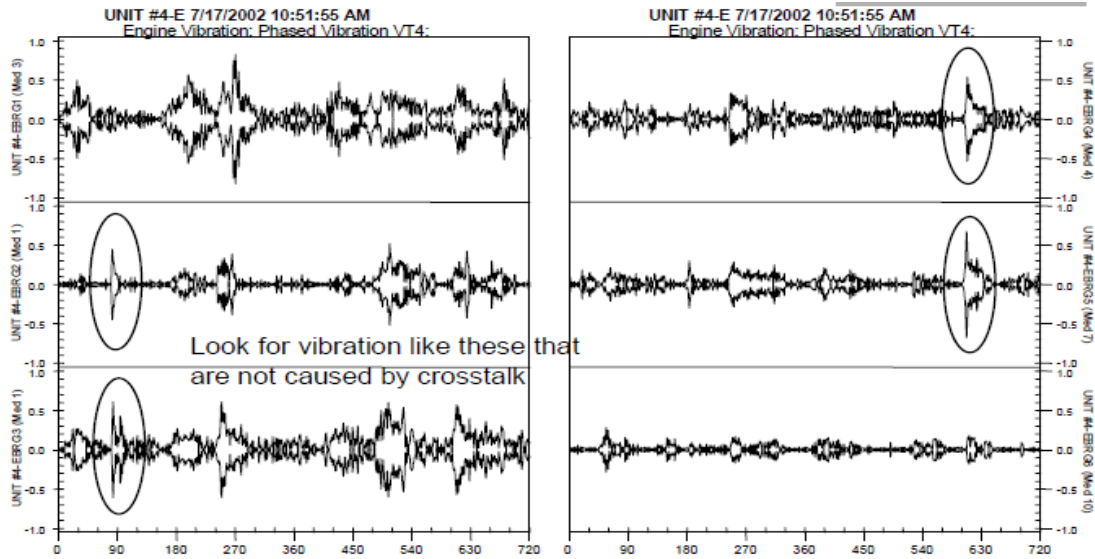
Código ISO : conteo de partículas en el aceite y se divide en tres tamaños >4 mic>6micr >15 mic. Se considera aceptable un resultado 17/15/12 se condena en 19/17/14 y se debe realizar un análisis más detallado. Si el código ISO supera los valores no aceptables y hay aumento de la cantidad de los otros metales hay indicación de desgaste de componentes.

#### **4.4.1.2 Bancadas**

Se evidencian por sus valores "overall" y por el número de picos a la velocidad de rotación 1x, 2x, 3x, 4x, 5x, hasta 20x

Hasta un valor de 10G en aceleración es permitido en vibración para las bancadas

**FIGURA28** Análisis de vibraciones en bancada

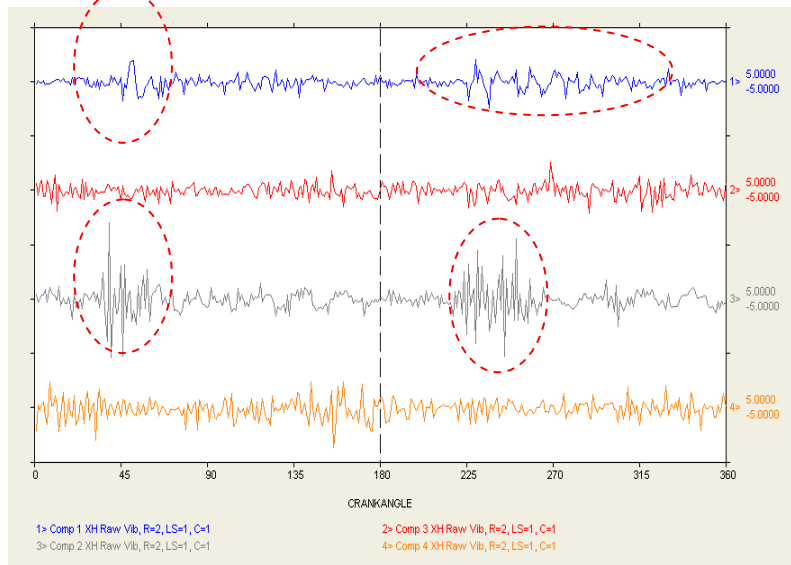


Fuente: GMRC 2003 GAS MACHINERY CONFERENCE SHORT COURSE: BASIC ENGINE & COMPRESSOR ANALYSIS TECHNIQUES. DYNALCO CONTROLS

#### 4.4.1.3 Bielas

Presentan impactos aleatorios, muchas veces a 45 y 225. En ocasiones se evidencias a 360. Las gráficas son muy ruidosas en la mayoría de las veces. Por lo general se observan a nivel de la cruceta y de las bancadas y en caso extremo a nivel del cilindro compresor.

**FIGURA29** Análisis de vibraciones de Bielas

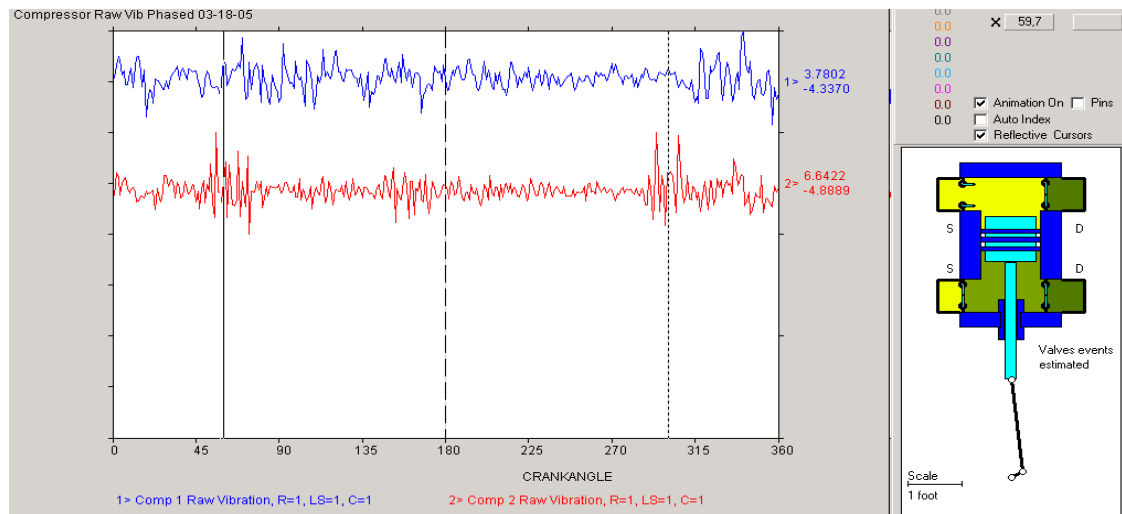


Fuente: INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE CONDICION Mto Predictivo basado en el sistema Windrock 6310 PA. IngUrquiola Juan C.

#### 4.4.1.4 Cilindros

La causa de falla más dominante es rayadura de los cilindros y/o desgaste. Los desgastes en anillos y/o camisa, generalmente se observan como 2 ruidos simétricos durante los 360 grados.

**FIGURA30** Ruidos indicadores de Problemas en Cilindros



Fuente: INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE CONDICION Mto Predictivo basado en el sistema Windrock 6310 PA. IngUrquiola Juan C,2007

## **5 PROCEDIMIENTOS**

### **5.1 PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE COMPRESIÓN EN CILINDROS MOTRICES**

1. Retire las bujías de las culatas.
2. Prelubrique el motor y hágalo girar, para retirar partículas que puedan obstruir la línea del compresímetro.
3. Instale el grupo de herramientas para toma de compresión, motores G-3612 CAT, en cada una de las culatas. Para proteger los componentes del motor, prelubricar nuevamente, antes de hacerlo girar.
4. Gire el motor y tome registro de la compresión en cada cilindro, verifique con las especificaciones del fabricante. Repita este procedimiento en cada cilindro.
5. Especificaciones de compresión motor G-3612 CAT (210-220 PSI).
6. Retire la herramienta de toma de compresión.
7. Registre la toma de compresión en cada mantenimiento.

### **5.2 PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE PROYECCIÓN EN VÁLVULAS MOTRICES**

1. Prelubrique el motor y póngalo en tiempo de compresión. (Tiempo del pistón N° 1).
2. Retire las tapas de los balancines y compruebe lo mencionado en el paso 1, en el cilindro N° 1.
3. Para la instalación correcta de la herramienta de proyecciones de válvulas, retire el lubricante del sistema de balancines.
4. Verifique en la tabla de calibración de válvulas motrices, cuales válvulas se encuentran libres en el tiempo de compresión.
5. Instale el grupo de herramientas proyección de válvulas motrices para motores G-3612 CAT.

6. Identifique las válvulas de admisión y escape, de las cuales encontrará dos por cada efecto en cada culata, por consiguiente, se deben definir las válvulas de admisión así: válvula al lado del impulsor y válvula al lado del múltiple. Hacer el mismo procedimiento para las válvulas de escape.
7. Una vez realizado el paso 6, tome registro de la proyección y compare con las especificaciones del fabricante. El resultado de la medición dará positivo (+) o negativo (-), según el desgaste de la válvula.
8. Especificaciones del fabricante de 070" (+) hacer seguimiento a 090" (+) se debe cambiar la culata.
9. Prelubrique el motor nuevamente y gírelo 360°, hasta llevarlo al tiempo de escape.
10. Repita el procedimiento anterior para la toma de proyecciones en el tiempo de escape.
11. Registre la toma de proyecciones en cada mantenimiento.

### **5.3 PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DEL ESCAPE DE GASES DE COMBUSTIÓN AL CÁRTER**

1. Mida el escape de gases al cárter en un motor nuevo. Anote el dato.
2. Continúe midiendo periódicamente el escape de gases al cárter. Si se comparan los datos registrados con los datos nuevos, se obtiene información sobre la condición del motor.

El escape de gases del cárter es uno de los factores que ayuda a determinar el intervalo para un reacondicionamiento general en el bastidor.

Después de que un motor nuevo se ha usado durante un corto periodo de tiempo, el escape de gases al Carter puede disminuir a medida que se asientan los anillos de pistón. El escape de gases al Cárter aumentará gradualmente a medida que los siguientes componentes muestran desgaste:

- Anillos de pistón: un problema con los anillos, hace que el aceite se deteriore rápidamente. La condición de los anillo de pistón se puede conocer con la medición del escape de gases al cárter y de los resultados del análisis de aceite. Un aumento repentino en escape de gases al cárter puede indicar un anillo de pistón roto.
- Camisas de los cilindros.
- Guías desgastadas de válvulas
- Fuga en un sello de turbocompresor
- Anillos de pistón asentados incorrectamente (en un motor reconstruido)

3. Use las siguientes herramientas para medir el escape:

Indicador de escape de gases/flujo de aire 8T-2700

Grupo de detector de escape de gases en motores grandes 1U-8860

4. Anote el escape de gases al cárter medido para el motor.
5. Mantenga un registro de los resultados

#### **5.4 PROCEDIMIENTO PARA MEDIR LA PRESIÓN DE LOS CILINDROS**

1. Mida la presión de los cilindros de los motores nuevos. Anote los datos.
2. Continúe midiendo periódicamente la presión de los cilindros. Comparando los datos registrados anteriormente con los datos nuevos, se obtiene información sobre la condición del motor.
3. La presión del cilindro en uno de los factores que ayuda a determinar el intervalo de reacondicionamiento general en el bastidor. La presión del cilindro se puede medir durante la inspección de las bujías de encendido.
4. Use las siguientes pautas para verificar la presión de los cilindros:

- Quite todas las bujías de encendido.
  - Minimice el tiempo de giro del motor, esto le permitirá una velocidad máxima uniforme de giro del motor para la comprobación. Además se conservarán el aire de arranque o la energía de la batería.
- 5.** Una pérdida de presión de cilindro o un cambio de presión en uno o más cilindros, puede indicar las siguientes condiciones. Estas condiciones pueden indicar un problema de lubricación:
- Depósitos excesivos
  - Acanalado de válvulas
  - Una válvula rota
  - Un anillo de pistón atascado
  - Un anillo de pistón roto
  - Anillos de pistón desgastados
  - Camisas de cilindros desgastadas

Si la presión de cilindro ha subido en una o más relaciones de compresión, el motor necesita un reacondicionamiento del extremo superior para quitar los depósitos. Si no se quitan los depósitos aumentará la posibilidad de detonación. Ocurrirá un acanalado severo de las válvulas.

**6.** Para medir la presión del cilindro, use la instrucción especial GMG00694 “Cómo analizar el estado de un cilindro midiendo el flujo de aire”. Además use el Adaptador de presión de cilindros 146-2739.

**7.** Anote la presión de cada cilindro.

La siguiente figura muestra las presiones de cilindro típicas para motores con diferentes relaciones de compresión.

**FIGURA 31** Presiones de cilindro típicas para motores con diferentes relaciones de compresión

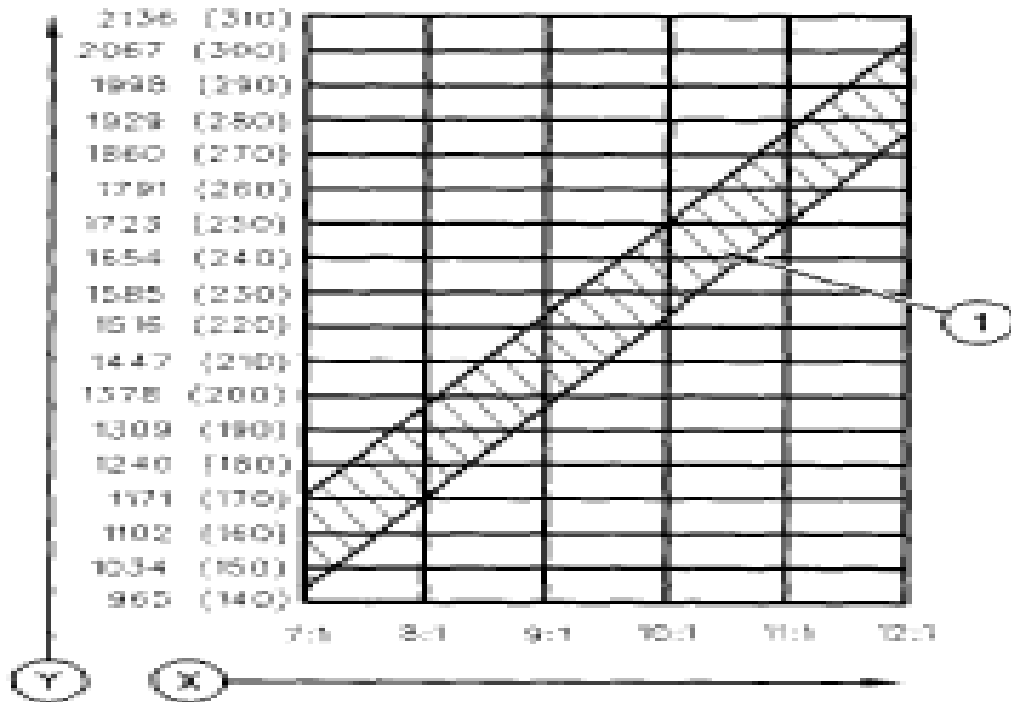


Ilustración 68:

©20079479 1

(Y) Presión del cilindro en kPa (lb/pulg<sup>2</sup>)  
 (X) Relación de compresión  
 (1) Gama normal de presión del cilindro

Fuente: Manual de especificaciones técnicas Caterpillar 3600

## 5.5 PROCEDIMIENTO PARA INSPECCIONAR CILINDROS

1. Use un videoscopio para inspeccionar los cilindros. La inspección proporcionará información sobre la condición interna del motor. Se recomienda un videoscopio con una lente que se pueda girar, el cual, proporciona una vista clara de la cámara de combustión y de la plataforma inferior de la culata.

2. Introduzca el videoscopio a través de las aberturas para los sensores de la combustión.
3. Use el videoscopio para ver si hay alguna de las siguientes condiciones:
  - Desgaste de las válvulas
  - Depósitos en los asientos de válvula
  - Depósitos en las caras de válvula
  - Pulido de las paredes de los cilindros
  - Arañazos en las paredes de los cilindros
  - Depósitos en las paredes de los cilindros por encima del límite superior de la carrera del pistón.
4. Inspeccione si hay depósitos excesivos en los asientos de válvula o en las caras de válvula. Si se encuentran depósitos excesivos, reemplace la válvula y el asiento de válvula.

## **5.6 PROCEDIMIENTO PARA MEDICIÓN DE DEFLEXIÓN**

1. Quitar la puerta de acceso lateral (s) en los puntos 1, 3, 6, 9 y 11 de las bancadas.
2. Instalar un indicador de deflexión del dial del cigüeñal como un Staurett # 696 o su equivalente a través de los contrapesos. En motores en línea sólo hay un contrapeso y un 1-8 THD perno X 6 pulgadas debe estar instalado en el eje motor para soportar el extremo libre del indicador de esfera.
3. El motor (y el equipo accionado) debe ser prelubricado.

4. Colocar en cero el indicador en la parte superior de la carrera.
5. Girar el motor y parar en los 90°, puesto que la varilla impide la rotación completa del cigüeñal cuando la herramienta está instalada. La dirección de rotación debe ser invertida para volver a la posición inicial de partida.
6. Dejar registrada la rotación en los 90° y señalar de nuevo en la dirección de retorno. Utilice la siguiente figura ( Figura 32) para registrar los datos:

**FIGURA32** Valores de Deflexión.

Deflection Values					
	1:00	3:00	6:00	9:00	11:00
Clockwise	0.000 inch				
Counter clockwise					

Fuente: Manual de Mantenimiento Motor Caterpillar 3612, 1988

Si el comienzo y el final en la posición 1:00 son superiores a  $\pm 0,0005$  pulgadas, los valores de deflexión deberán repetirse. Para determinar si la desviación está dentro de especificaciones use la siguiente Figura (Figura 33):

**FIGURA33** Evaluación de Deflexión

Deflection Evaluation				
	1:00 – 6:00	Tolerance	3:00 – 9:00	Tolerance
Face (Axial)		$\pm 0.0016$ inch		$\pm 0.0016$ inch
	<input type="checkbox"/> Acceptable	<input type="checkbox"/> Unacceptable	<input type="checkbox"/> Acceptable	<input type="checkbox"/> Unacceptable

Fuente: Manual de Mantenimiento Motor Caterpillar 3612, 1988

## **5.7 PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE PRESIÓN, VIBRACIONES, ULTRASONIDO Y TEMPERATURA EN COMPRESORES**

### **5.7.1 CODIFICADOR**

El codificador es el primer dispositivo que se instala, y registra el número de vueltas que da el cigüeñal por unidad de tiempo.

Para los equipos de marca ARIEL, los codificadores tienen una tuerca que una vez removida, permite ver el eje del cigüeñal, allí se conecta el codificador empleando una barra metálica con punta de caucho; el accesorio del codificador gira las mismas vueltas del cigüeñal.

El codificador se conecta a la unidad inalámbrica, una luz indica que se está emitiendo señal, en ese momento se debe conectar el analizador para verificar que se está recibiendo señal. Si la señal no se transmite, se conecta el analizador directamente al codificador; una vez ajustado el codificador, se ajusta el punto muerto superior (PMS) del compresor, conectando la lámpara de luz estroboscópica al codificador; la lámpara emite un pulso de luz por cada vuelta del cigüeñal, la cual se dirige al eje del motor, donde previamente fue marcado el punto del PMS. El pulso se adelanta o se atrasa hasta que coincida con la señal realizada en el eje.

### **5.7.2 PRESIÓN**

El sensor de presión se conecta en las válvulas indicadoras. Este sensor se deja unos minutos para que absorba calor de la válvula y luego se desconecta. El sensor se conecta al puerto del analizador y se conecta de nuevo a la válvula para recibir datos. La válvula indicadora se abre para iniciar con la ruta de monitoreo. El gráfico de Presión vs. Ángulo del Cigüeñal debe estar en fase con el PMS.

Se toman los datos en el lado de la cabeza del compresor del cilindro, y del lado del cigüeñal.

### **5.7.3 VIBRACIÓN Y ULTRASONIDO**

Para tomar vibraciones y ultrasonido, se conecta el acelerómetro al puerto, y el ultrasonido al sensor.

El sensor se calibra colocándolo sobre la primera válvula de succión, y girando el dial entre 1 y 10 hasta que el espectro sea claro para el posterior análisis. La recolección de datos comienza registrando los datos de vibración de alta frecuencia y ultrasonido al tiempo, luego se deja conectado el acelerómetro para recolectar los datos de vibración de baja frecuencia.

### **5.7.4 TEMPERATURA**

La temperatura de las superficies se registra con un sensor infrarrojo, colocándolo muy cerca de la superficie monitoreada.

Las temperaturas de los botellones de succión y descarga son tomadas antes de registrar presiones.

Una vez se recolectan los datos en el primer cilindro, se realiza lo mismo en el segundo cilindro.

### **5.7.5 BANCADAS Y CRUCETAS**

El registro de las vibraciones en bancadas y crucetas, se realiza con el acelerómetro. Para las bancadas, se toma un punto en el lado del primer cilindro, y otro punto cruzado en el segundo cilindro.

Las mediciones de vibraciones y ultrasonido deben hacerse en el mismo sitio, para establecer tendencias.

### **5.7.6 VIBRACIÓN FFT**

Las vibraciones FFT no se relacionan con el giro del cigüeñal, por lo tanto, no requieren codificador. La velocidad de la vibración se registra con el vibrómetro.

Una vez terminada la recolección de los puntos configurados en el analizador, se deben revisar los gráficos obtenidos y los reportes para asegurar los datos.

## **5.8 PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE VIBRACIONES, ULTRASONIDO, TEMPERATURA E IGNICIÓN SECUNDARIA EN MOTORES**

### **5.8.1 CODIFICADOR**

El codificador se conecta al volante trasero del motor y se asegura con una banda de hule a la carcasa del motor. Luego de conectado el codificador al motor, se coloca el dispositivo inalámbrico. Con la lámpara de luz enfocada al volante del motor, se ajusta el PMS con respecto al primer cilindro. El pulso se adelanta o retrasa hasta encontrar la señal que trae por defecto el motor, que muestra el punto del PMS para el primer cilindro.

### **5.8.2 IGNICIÓN SECUNDARIA**

Una vez colocado el codificador, se recolectan los voltajes de la ignición secundaria. El analizador indica el cilindro a monitorear. En el primer cilindro donde se recolectan los datos, se deben revisar los grados a los cuales está produciéndose el evento de ignición de la bujía; si se encuentra en buen estado debe marcar aproximadamente 708° de giro del cigüeñal; si no es así, puede haber problemas de ajuste del PMS o de ignición.

### **5.8.3 VIBRACIÓN Y ULTRASONIDO**

Las mediciones de vibración y ultrasonido se registran al tiempo. El acelerómetro y el ultrasonido, se deben conectar en los canales respectivos.

El sensor de ultrasonido se debe calibrar hasta que el espectro sea claro. Los sensores se deben colocar en el mismo lugar cada vez que se realice el registro para poder llevar tendencias en el comportamiento del motor. Una vez guardados estos datos, se deja conectado el acelerómetro para recolectar los datos de vibración de baja frecuencia.

Después del ajuste en el sensor de ultrasonido, este no debe ser modificado durante toda la recolección de datos.

### **5.8.4 TEMPERATURA**

Las temperaturas en los motores se toman a la entrada y salida de la bomba de agua de refrigerante, a la entrada y salida de la bomba de aceite de lubricación, y a la entrada de aire. Además la temperatura ambiente se toma como referencia.

### **5.8.5 BANCADAS**

En las bancadas solo se toman registros de vibraciones, las cuales son de alta y baja frecuencia.

### **5.8.6 VIBRACIÓN EN MODO FFT**

El registro de vibraciones en modo FFT es el mismo para todos los equipos reciprocantes, ya sean motores o compresores.

## 6 CONCLUSIONES

- De los componentes a reemplazar en los trabajos overhaul es posible determinar los dominantes de acuerdo a la duración para reemplazarlos los cuales son una cantidad minoritaria pero que acumulan duraciones arriba del 50%.
- Es posible llevar a cabo evaluaciones y diagnósticos técnicos a los componentes dominantes para la toma de decisión de los overhaules a través de diferentes técnicas, estos diagnósticos toman tiempos muy bajos y algunos no impactan la disponibilidad del equipo.
- El diagnostico técnico de los componentes dominantes para el motor y compresor se llevará a cabo a las 47000 hrs. Esto debido a que el trabajo IN FRAME Overhaul en el motor se recomienda a las 50000 hrs y el overhaul del compresor es recomendado para 48000 hrs de servicio. Lo que se plantea es llevar las tendencias y ejecutar los dos servicios Overhaul al tiempo para minimizar los tiempos de indisponibilidad de la unidad.
- Los procedimiento y recomendaciones acertados se encuentran en los manuales de fabricante unido a la experiencia del talento humano son el complemento adecuado, es por esto que se debe constantemente capacitar y entrenar al personal tanto operativo como administrativo con los fabricantes del equipo para afianzar la capacidad de realizar una correcta gestión de los activos.
- Al analizar los datos para llevar a cabo el diagnostico de los motores y compresores se debe tener el conocimiento técnico integral para complementar todos los resultados y emitir un acertado estado del equipo.

## BIBLIOGRAFIA

- ARIEL. Technical Manual For Models: JGC and JGD. Ohio 2005.
- ASTUDILLO LOAYZA,Leonardo. Implantación del sistema de mantenimiento basado en la condición aplicado a equipos reciprocantes de las instalaciones de REPSOL-YPF del bloque 16. Tesis de ingeniería mecánica. Quito :Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2007. 267 p.
- CAMPBELL, John D. JARDINE, Andrew K. MaintenanceExcellence. Estados Unidos :Marcel Dekker, Inc. 2001. p. 495.
- CATERPILLAR. Gas Engines Application and Installation Guide G3600. EstadosUnidos USA 1998. p. 101.
- CATERPILLAR. Maintenance Management Schedules .EstadosUnidos USA 2002. p. 78.
- CATERPILLAR. Manual de operación y mantenimiento motores G3612 y G3616 . Estados Unidos USA 1998. p. 161.
- MOUBRAY, John. RCM I, Realiability Centered Maintenance. Segundaedición. New York : Industrial Press Inc. 1997. p. 440.
- ROYCE N. Brown.Compresors selection and sizing. Segundaedición. Houston : Gulf Professional Publishing, 1987. p. 534.