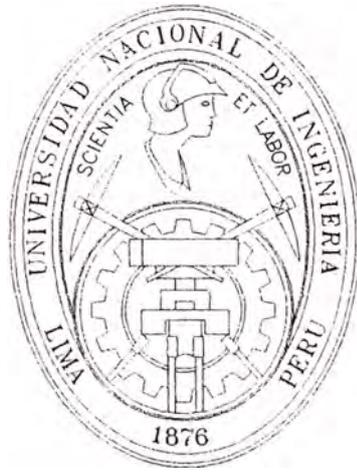


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**“CONVERSIÓN DE UN MOTOR DIESEL CATERPILLAR
D3512 PARA USO CON GAS NATURAL (G3512)”**

INFORME DE INGENIERIA

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECANICO**

ENRIQUE MANUEL GONZALO MEDINA

PROMOCION 1992-II

LIMA-PERU

2004

INDICE

Prólogo	5
Capítulo I – Introducción	8
1.1.- Objetivo	9
1.2.- Motores a gas la gran elección	9
1.3.- Antecedentes de la empresa Pluspetrol	11
Capítulo II – Generalidades	15
2.1.- Familia de motores Caterpillar	19
Capítulo III – Combustibles gaseosos para motores a gas	23
3.1.- Poder calorífico de combustibles gaseosos	25
3.2.- Relación aire-combustible	28
3.3.- Biogás o gas de cloaca	31
3.4.- Golpeteo durante la combustión en los motores encendido por chispa	34
3.4.1.- Factores que influyen en el golpeteo	39
- Características del combustible	39
- Relación de compresión	39
- Temperatura de mezcla	41
- Avance del encendido	42
- Carga	43
- Relación aire-combustible	44
- Suministro de combustible	45
Capítulo IV – Sistemas del motor a gas	48
4.1.- Sistema de combustible	49
4.1.1.- Sistemas alternos de combustible	54
- Biogás	55
- Propano vaporizado	56

- Propano líquido	56
- Sistemas duales de gas combustible	58
4.1.2.- El carburador	60
4.2.- Sistema de admisión y escape	74
4.3.- Sistema de encendido	80
4.3.1.- Componentes del sistema de baja tensión .	80
- Transformador de encendido	80
- Magneto	81
- Bujía	90
4.4.- Sistema de enfriamiento	92
4.5.- Sistema de lubricación	96
4.6.- Sistemas de protección y control	98
Capítulo V – Diferencias entre un motor Diesel y un motor a gas	105
Capítulo VI – Programa de mantenimiento de un motor a gas G3500	116
6.1.- Inspecciones diarias	117
6.2.- Semanalmente ó cada 250 horas	119
6.3.- Mensualmente ó cada 1.000 horas	119
6.4.- Cada dos meses ó cada 2.000 horas	121
6.5.- Anualmente ó cada 8.000 horas	121
Capítulo VII – Plan de costos de mantenimiento	123
7.1.- Plan de tendencia del mantenimiento	125
7.1.1.- Mantenimiento periódico preventivo	127
7.1.2.- Reparación superior (Top End)	129
7.1.3.- Reparación en el monoblock	131
7.1.4.- Reparación general	133
7.2.- Consideraciones de los combustibles	134
7.3.- Efectos del combustible en los costos de mantenimiento	135
7.3.1.- Propano y variaciones de propano	136

7.3.2.- Gas de campo o gas de cabeza de pozo ..	137
7.3.3.- Gas natural seco procesado	139
7.3.4.- Biogás	140
- Gas de relleno sanitario	140
- Gas digestor	142
7.4.- Efectos del sulfuro de hidrógeno en los costos de mantenimiento del motor	142
7.5.- Filtración de combustible	144
7.6.- Consideraciones del aceite	146
7.6.1.- Muestreo de aceite	148
7.7.- Consideraciones del refrigerante	150
7.7.1.- Agua base del refrigerante	151
7.7.2.- Aditivo suplementario de refrigerante	152
7.7.3.- Anticongelante	153
7.7.4.- Limpieza del sistema de enfriamiento	154
7.8.- Cálculo de los costos de mantenimiento	154
7.8.1.- Costo por hora	154
7.8.2.- Costo por kilowatt hora eléctrico	157
7.8.3.- Costo por potencia anual	158
7.9.- Monitoreo de los resultados de los costos de mantenimiento	160
7.10.- Reducción de los costos de mantenimiento	161
- Seguir intervalos de mantenimiento recomendado	161
- Mantener la relación aire-combustible según especificaciones	162
- Usar y mantener fluidos apropiados para el motor	163
- Dar servicio a las bujías	165
- Mantener el calibre de la bujía al nivel más pequeño posible	166
- Ajustar el ángulo de la mariposa del carburador	

para cada aplicación	167
- Mantener la limpieza del motor durante los trabajos de mantenimiento	167
- Proteger el motor en ambientes de baja temperat.	168
- Proteger el turbo durante la operación del mantenimiento	169
- Aplicaciones a carga y velocidad parcial	171
Capítulo VIII – Costos de conversión de un motor Diesel D3512 a gas G3512	173
8.1.- Características del motor Diesel	174
8.2.- Características del motor a gas	175
8.3.- Evaluación económica de la conversión	176
8.3.1.- Componentes a ser cambiados	176
8.3.2.- Reparación general del motor	177
8.3.3.- Mantenimientos programados	179
8.3.4.- Consideraciones para el análisis económico	180
8.3.5.- Proyección de los mantenimientos	180
8.3.6.- Resultados anualizados	182
8.3.7.- Costo anual equivalente	184
Conclusiones	
Bibliografía	
Anexos	

PROLOGO

El presente informe se refiere a la conversión de un motor Caterpillar modelo 3512 que trabaja con combustible Diesel, para que pueda trabajar con gas natural extraído de los campos petroleros del lote 1AB, operado por la compañía Pluspetrol Norte.

El lote 1AB, se encuentra ubicado en la parte nor-oriental de nuestro país (Ver fig. 1, 2 y 3), al cual se llega vía aérea desde Lima ó Iquitos. El petróleo extraído del lote, es almacenado en tanques de hasta 100.00 barriles y luego enviado hacia Bayovar, a través del ramal norte del oleoducto nor-peruano.

En este lote existen 11 baterías o campos de producción de petróleo, con una producción promedio actual de 40,000 barriles diarios (BPD), en éstas 11 baterías existen alrededor de 200 pozos, en la mayoría de los cuales están instalados motores Caterpillar modelos 3408, 3412, D398, 3512, G398 y G399, y el 22 % de pozos está alimentado por líneas de alta tensión de Mini-centrales.

La idea de convertir un motor que usa como combustible el Diesel, en el lote, es para aprovechar el gas que en la actualidad se quema al medio ambiente, debido a que no se lo utiliza, es por ello que en los costos estimados, se considera el costo del gas cero. Adicionalmente, el Diesel que se utiliza para los 200 motores instalados en el lote, es producido por una pequeña refinería (topping plant) que se encuentra al límite de su capacidad de producción, por lo tanto, el usar el gas como combustible, se tendría la misma energía y se aliviaría la carga

de producción de Diesel, que conlleva a tener más petróleo crudo para ser vendido.

Por otro lado, el objetivo de este informe es incentivar al uso de motores a gas, ahora que el próximo año (2004) estará llegando el gas de Camisea a Lima.

En el capítulo I, se presenta la ventaja de utilizar un motor a gas en cuanto a la limpieza en las emisiones y la ventaja económica en emplear el gas que se está quemando a la atmósfera sin provecho alguno de su capacidad calorífica.

En el Capítulo II, se presenta generalidades sobre los motores a gas Caterpillar, así como los diferentes modelos y sus rangos de potencia.

En el Capítulo III, se indican los tipos de combustibles para motores a gas, el poder calorífico, la relación de aire-combustible, temperatura de la mezcla, el problema de detonación en los motores y las características de los combustibles.

En el Capítulo IV, se explican los sistemas de los motores a gas Caterpillar de la serie 3500 que convertiremos, se explica el sistema de combustible y el carburador, el sistema de admisión y escape y la válvula de derivación, el sistema de encendido en el que se presenta el transformador y el magneto, el sistema de refrigeración de circuitos separados, el sistema de lubricación y el sistema de protección y control.

En el Capítulo V, se indican las principales diferencias entre un motor Diesel y un motor a Gas.

En el Capítulo VI, se indica el programa de mantenimiento de acuerdo a las horas trabajadas por el motor.

En el Capítulo VII, se presenta el plan de costos del mantenimiento, se explican los tipos de mantenimientos y consideraciones para su ejecución, al final se plantea la teoría para el cálculo de los costos del mantenimiento.

En el Capítulo VIII, se presentan las características técnicas tanto de los motores Diesel y gas del mismo modelo, luego el listado de los componentes a ser cambiados para la conversión y, por último, el cuadro comparativo de los costos de la conversión, en la que se calcula el Valor Actual Neto y la conveniencia de convertir el motor diesel, para que pueda trabajar con gas.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1.- OBJETIVO:

El presente trabajo tiene como objetivo principal el emplear gas natural que se produce en el lote 1AB y que en la actualidad se quema al ambiente en grandes cantidades, para generar potencia a partir de un motor de combustión interna que trabaja con combustible Diesel, para ello explicaremos las características de los gases combustibles empleados en los motores, los sistemas del motor a gas, las diferencias que existen entre un motor que trabaja con combustible Diesel y uno que trabaja con gas natural, luego el programa de mantenimiento del motor a gas y por último los costos de mantenimiento y una comparación técnico-económica de reparar un motor diesel ó convertirlo para que pueda usar el gas natural como combustible.

1.2.- MOTORES A GAS, LA ELECCION NATURAL:

Los motores a gas están impulsando cambios importantes en la forma en que nos relacionamos con el mundo en que vivimos. A medida que nuestros horizontes económicos continúan ensanchándose y nuestra visión del mundo cambia de regional a global, los motores a gas trabajan constantemente para responder al desafío que representa la necesidad de generar potencia limpia, fiable y productiva.

La preocupación con la calidad de aire que respiramos y con los costos ecológicos en que incurrimos al quemar combustibles fósiles, están impulsando el cambio hacia motores a gas que trabajan con mayor limpieza.

Además, la ventaja económica que representa la abundancia de combustibles gaseosos en algunas regiones del mundo está

convirtiéndose rápidamente en una consideración importante a la hora de decidir el cambio a motores a gas.

Hace más de 50 años, Caterpillar decidió aprovechar sus conocimientos y experiencia con motores Diesel de fama mundial para desarrollar sus primeros motores a gas. Hoy día, gracias a la fiabilidad, eficiencia y versatilidad de la familia de motores a gas CAT, Caterpillar se ha convertido en el líder mundial en la fabricación de motores industriales a gas para servicio pesado.

A partir de 1973, cuando la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) de los Estados Unidos publicó las primeras normas relativas a limitación de emisiones tóxicas y a conservación de aire limpio, las normas legales en todo el mundo se han hecho cada vez más estrictas. Tanto en Estados Unidos como en Europa y en Japón, los motores a gas CAT no se limitan a cumplir con normás de emisiones muy estrictas, sino que consiguen niveles aún más bajos de emisiones y establecen normás más avanzadas.

Una avanzada tecnología de combustión permite que los motores a gas CAT produzcan menos emisiones en todo tipo de condiciones de trabajo. En lugar de recurrir a tratamientos de los gases de escape, los ingenieros de Caterpillar han diseñado cámaras de combustión especiales que junto con controles electrónicos y con sincronización variable del encendido, permiten controlar las emisiones cuando se originan, durante la combustión, de forma más eficaz y fiable.

Por medio de un control preciso de la sincronización del encendido y de las mezclas de combustible y aire, los motores a gas CAT superan los requisitos de protección del medio ambiente en todo el mundo, y

lo consiguen utilizando a la vez el combustible con eficiencia y economía.

1.3.- ANTECEDENTES DE LA EMPRESA PLUSPETROL:

En la compañía Pluspetrol Norte S.A., que explota petróleo en el lote 1AB y el lote 8, se utilizan motores de combustión interna, para generar energía que luego alimentan a bombas eléctricas ubicadas a 3.000 metros bajo la superficie, el 90% de estos motores trabaja con combustible Diesel, y sólo el 10% trabaja con el gas que se extrae de los pozos.

En la tabla 1, se observa la cantidad de energía producida en el lote 1AB y los grupos electrógenos utilizados para dicha generación, en la que se puede observar que más del 90% son motores Caterpillar.

Tabla 1.- Generación de energía en el lote 1AB.

AREA	ANDOAS				SHIVYACU				JIBARITO			SAN JACINTO		
	Bateria	Andoas	Capahuari Sur	Capahuari Norte	Tambo	Forestal	Huayuri	Shiviyacu	El Carmen	Jibaro	Jibarito	Dorissa	San Jacinto	Bartra
Modelo	3306								1					1
	3408				1		1	2						
	3412	2	1	8		7	4	15	2	2	4	9	10	
	D379			1				4				1	1	
	D398	2		1		2	2	4		1	3	1		
	G398						2	2						
	G399							2						
	3508											2		
	3512			2		2	2	3	3	1	5	2		
	M.E.P.			3								3		4
Capacidad Instalada (MW)	2.56	4.53	7.53	0.36	6.1	7.5	16.74	4.33	2.68	12.65	8.92	10.25	0.15	
	14.98				34.67				24.25			10.4	84.3	
Demanda Actual (MW)	1.01	1.71	4.56	0.01	3.35	4.26	8.54	2.07	1.61	7.17	4.43	4.56	0.09	
	7.29				18.22				13.21			4.65	43.37	

Pluspetrol viene operando en el lote 1AB desde Junio del año 2000, luego que fuera comprado a la compañía Occidental (OXY).

El lote 1AB se encuentra ubicado en la parte Nor-Oriental del Perú, en el departamento de Loreto, en el límite con el Ecuador, tal como se observa en la figura 1; el área de extensión del lote abarca 500.000 hectáreas, los cuales están divididos en 4 grandes áreas de producción (ver fig. 2), en cada área de producción se encuentran las bases y en cada base existen entre 20 a 50 pozos, las 04 cuatro áreas son:

- a) Andoas, que abarca las bases de Andoas, Capahuari Sur, Capahuari Norte y Tambo.
- b) Shiviycu, que abarca las bases de Huayuri, Forestal, Shiviycu y El Carmen.
- c) Jibarito, que abarca las bases de Jibaro, Jibarito y Dorissa.
- d) San Jacinto, que abarca las bases de San Jacinto y Bartra.

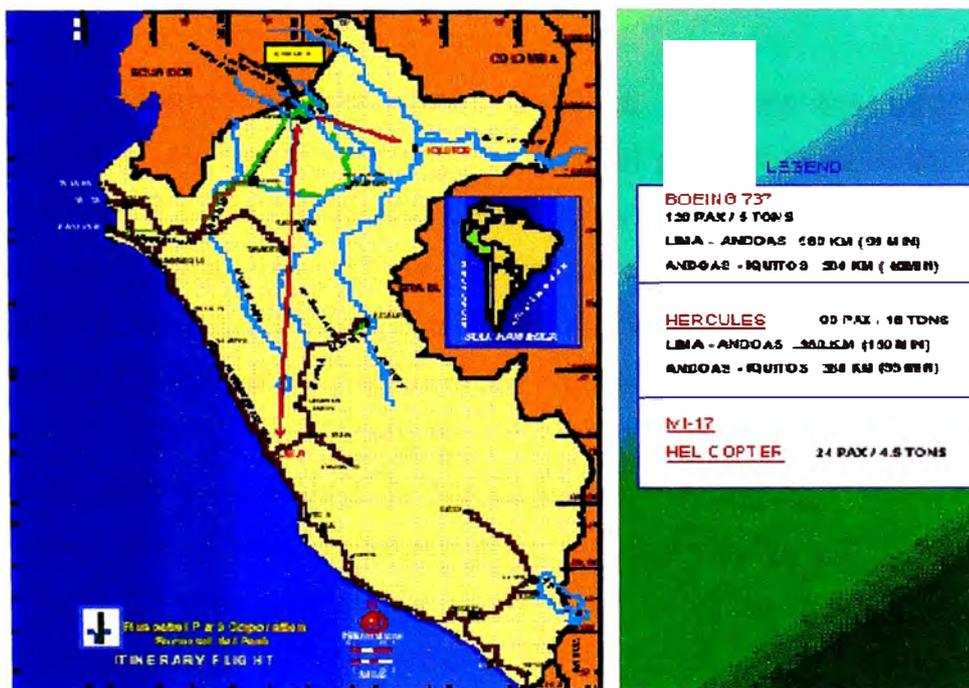


Fig. 1.- Ubicación del lote 1AB.

El ingreso a Andoas es por vía aérea y se puede hacer desde Lima ó Iquitos.

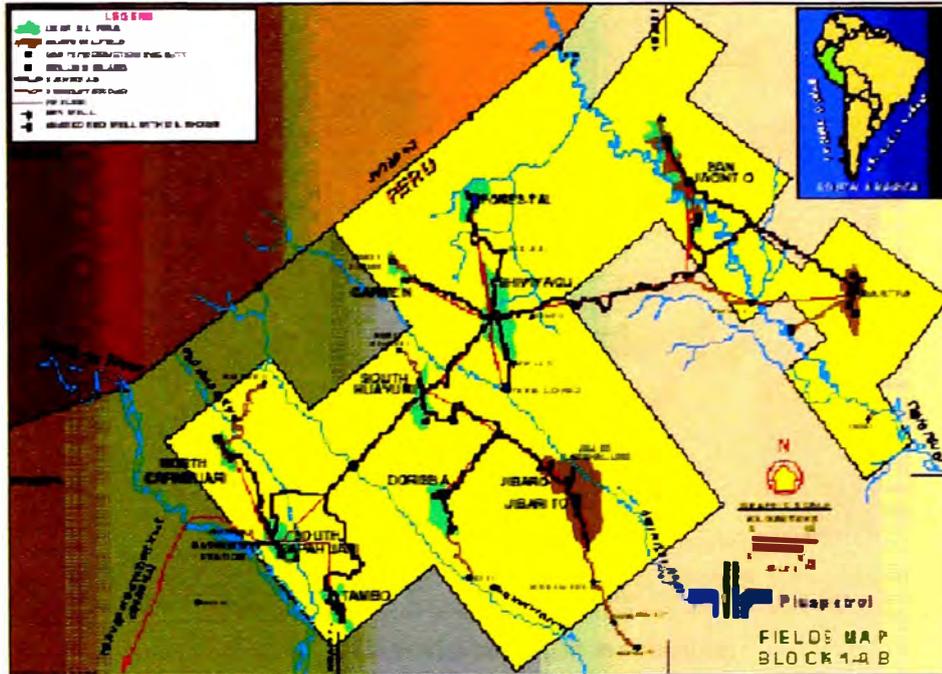


Fig. 2.- Lote 1AB.

El petróleo extraído de los pozos del lote 1AB, es transportado por tuberías hasta las bases, donde reciben el primer tratamiento que es el de eliminar el agua, a través de secadores; luego son almacenados en tanques, para luego ser transportados a los tanques de almacenamiento de Andoas. La producción de petróleo del lote 1AB actualmente asciende a un promedio de 39.000 barriles diarios.

En Andoas está la estación de bombeo de Petroperú, desde donde se inicia el Oleoducto Nor-peruano ramal norte; desde allí el petróleo es bombeado a través de tubería de 406 milímetros de diámetro hasta Bayovar en la costa norte del Perú. En la figura 3, se puede observar los dos ramales del Oleoducto Nor peruano (ramal norte y ramal sur).

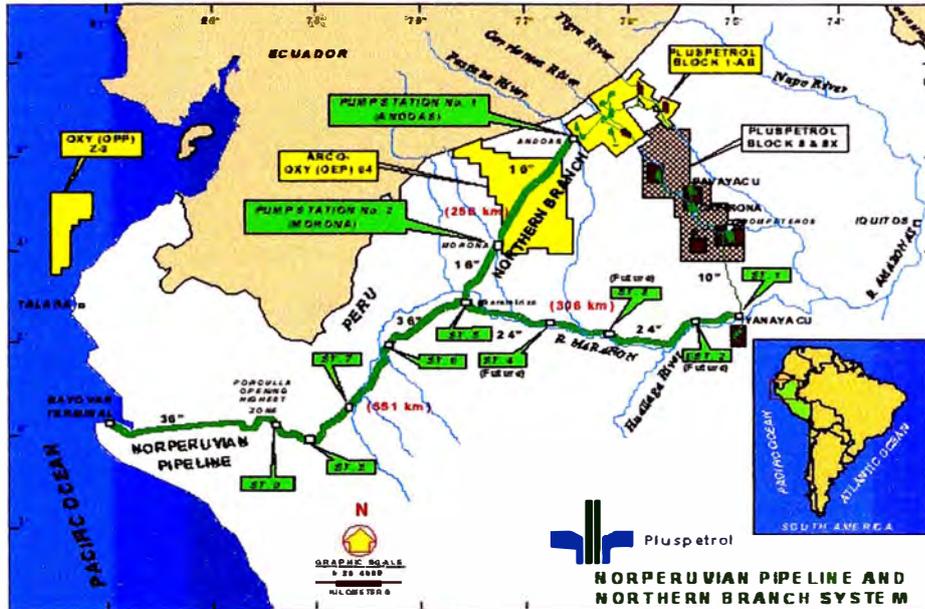


Fig. 3.- Oleoducto Nor-peruano.

En el lote 1AB, existe una refinería (Topping plant), el cual abastece de combustible Diesel a las 11 locaciones; la capacidad de producción de esta refinería es de 2.200 barriles diarios, pero dado la gran demanda de energía y teniendo en cuenta que la mayoría de equipos de superficie (grupos electrógenos y bombas) utilizan como combustible el Diesel, el consumo de Diesel es de 2.200 barriles diarios, lo cual indica que ante una mayor demanda de energía, debido a que cada vez el petróleo está a mayor profundidad (se tiene que instalar bombas de mayor potencia), es que se realiza este estudio para utilizar el gas de los pozos que se quema al ambiente.

CAPITULO II

GENERALIDADES

El diseño de cámara de combustión directa que los ingenieros decidieron para las familias G3400 y G3500 de motores a gas Caterpillar (CAT) de bajas emisiones, asegura el quemado completo de mezclas muy pobres de combustible y aire. Esto permite mantener altos niveles de eficiencia en el uso de combustible y reducir al mismo tiempo la formación de emisiones tóxicas. En la familia G3600, de mayor cilindrada, el diseño de pre-cámara permite usar mezclas todavía más pobres y obtener niveles más altos de economía de combustible. Combinando una avanzada tecnología de control por medio de microprocesadores con el avanzado diseño del motor a gas CAT, se obtiene un bajo nivel de emisiones y una excelente economía de combustible, al mismo tiempo que producen mayor potencia.

La familia de motores a gas CAT de hoy día, permiten al usuario decidir de la forma más eficiente de satisfacer los requisitos específicos de su instalación.

La amplia gama de condiciones de operación, junto con la variedad de componentes y de configuraciones permiten adaptar el grupo del motor a la medida de las necesidades del cliente en cualquier parte del mundo.

Algunas de las aplicaciones más frecuentes de estos motores son: compresión de gases, enfriadores propulsados por motores a gas, bombas, compresores de aire, grupos electrógenos para generación continua, grupos electrógenos auxiliares, sistemas de administración de cargas y cogeneración de potencia.

Al tener dos tipos de motores, de bajas emisiones y estándar, es seguro que en cualquier momento y lugar donde sea necesario, Caterpillar tiene un sistema para satisfacer cualquier especificación, y

al tener gamas de operación desde 900 a 1800 RPM, de 41 a 3.655 kW, los motores a gas CAT se adaptan prácticamente a cualquier tipo de equipo.

La avanzada tecnología de combustión permite quemar prácticamente cualquier combustible gaseoso que haya disponible, incluyendo gas natural de gasoducto, gas de campo, propano, etc.... También existen tecnologías avanzadas que permiten el uso de gas metano de relleno sanitario, biogases y otros gases que son también derivados de otros procesos. Además, es posible configurar los motores a gas CAT, de forma que puedan alternar de un combustible gaseoso a otro, dando la flexibilidad de decidir cuál es el combustible adecuado en cada momento para obtener el mejor resultado posible de una situación determinada.

Los motores a gas CAT han sido contruidos, teniendo como base el diseño de los famosos motores Diesel de Caterpillar, por lo que tiene la solidez intrínseca para durar más que cualquier otro motor. El bloque motor, el cigüeñal, los cojinetes, las bielas y el tren de engranajes son similares a los que se usan en los motores Diesel y han sido diseñados para que resistan cargas más grandes. El resultado es un motor de gas duradero y fiable que puede funcionar a niveles más altos, durante más tiempo y con mayor eficiencia.

Los avances tecnológicos en los sistemas electrónicos de control y verificación aumentan aún más la fiabilidad de estos motores. Al mantener el motor funcionando dentro de los límites operacionales recomendados, los controles electrónicos Caterpillar permiten alcanzar la máxima eficiencia a la vez que la máxima duración. La capacidad de diagnóstico de los sistemas de control permite

determinar las áreas donde hay problemas y proteger el motor contra averías.

La calidad que permite prolongar la duración de los motores a gas CAT también permite reducir los costos de operación. La solidez del motor Diesel, las avanzadas tecnologías, la calidad de los componentes y, naturalmente, la calidad de fabricación Caterpillar, hacen que los motores a gas CAT sean una buena elección en estos tiempos en que es necesario reducir costos.

Los costos principales de operación de un motor a gas se deben al combustible, aceites y mantenimiento. Los motores a gas CAT han sido construidos para que sean muy ahorrativos cuando se trata de mantener bajos los costos.

Cuando se les da el mantenimiento apropiado, los motores a gas CAT han sido diseñados para producir más trabajo durante más horas con menos supervisión. Los costos de mano de obra son bajos gracias a la facilidad de mantenimiento. Y, como los controles electrónicos avisan posibles problemas antes de que éstos se conviertan en problemas reales, el tiempo perdido por averías y reparaciones se reduce desde el principio.

El diseño avanzado de los anillos y las camisas de los pistones contribuyen a mantener el motor seco y a reducir el consumo de combustible. Las tecnologías avanzadas, la experiencia en ingeniería y todas las innovaciones hechas por Caterpillar, han contribuido a que los motores a gas CAT estén entre los más eficientes que existen.

Cuando es preferible utilizar gas como combustible, debido a su disponibilidad, a su precio o para cumplir con las normas y requisitos sobre emisiones, la versatilidad, fiabilidad y durabilidad de los motores a gas los convierten en la mejor elección posible para producir electricidad.

Tanto si se trata de un grupo electrógeno sencillo o de una estación de producción de electricidad, los grupos electrógenos con motores a gas CAT se utilizan en operaciones de manufactura, rellenos sanitarios, tratamiento de aguas residuales, campos petrolíferos, perforaciones en alta mar o compañías de electricidad.

2.1.- FAMILIA DE MOTORES CATERPILLAR:

Caterpillar tiene 12 modelos básicos para diferentes familias de motores, que se muestran en la tabla 2.

Cada modelo está disponible para alta o baja relación de compresión. Los motores a gas CAT producen desde 41 kW a 3.655 kW; las series pequeñas G3300 y G3400 son estequiométricos que optimizan el consumo de combustible y potencia. Los motores más grandes de las series G3500 y G3600 son configurados para Mezcla Pobre (Lean Burn) para minimizar la emisión de componentes dañinos hacia el ambiente, optimizando su consumo de combustible y capacidad de potencia. El motor G3500 está también disponible en aplicación estequiométrica, la cual es favorable para aplicaciones especiales.

Tabla 2.- Línea de motores a gas Caterpillar.

Modelo	Rango de Potencias (kW)
G3304	41 - 71
G3306	60 - 164
G3406	84 - 272
G3408	112 – 336
G379	224 – 309
G3412	168 – 504
G398	336 – 522
G3508	192 – 492
G399	448 – 694
G3512	327 – 589
G3516	416 – 809
G3606	928 – 1316
G3608	1242 – 1754
G3612	1864 – 2735
G3616	2487 – 3655

Para el rango de baja potencia, CAT produce la serie G3300 a gas. El más pequeño de la línea es el G3304 y sólo es configurado para aspiración natural (A.N.). Posee 120,7 mm de diámetro del pistón por 152,4 mm de carrera, con un desplazamiento de 7 lt y dos relaciones de compresión 10,5:1 u 8:1 y genera rangos de potencia de 41 a 71 kW.

Los motores G3304 no son sobre-alimentados, ya que no hay disponibles turbos para G3304, además para turboalimentar un motor a gas, es necesario un post-enfriador para mantener la temperatura baja en el colector de admisión, para prevenir la detonación.

Los motores a gas G3306 están disponibles en A.N. y turboalimentados (T.A.), también tienen relación de compresión de 10,5:1 y 8:1 e igual diámetro y carrera, pero desplazamiento mayor, de 10,5 lt, y generan potencias de 60 a 164 kW.

El segundo grupo de motores es la serie G3400 (G3406, G3408 y G3412); éstos son fabricados como los motores 3408 y 3412 Diesel, tienen 137,2 mm de diámetro y 152,4 mm de carrera. y generan potencias de 84 kW a 900 RPM NA a 504 kW a 1.800 RPM TA . Esta familia de motores tiene cuatro válvulas por cilindro.

Existen muchas similitudes entre el motor Diesel y el motor a gas, pero también hay diferencias. El metal de bancada posterior del G3408 y las contrapesas son las mismas que en el D3408. Sin embargo en estos motores, el metal de bancada posterior es movido hacia atrás, hacia la volante, esto reduce la tendencia de la volante a orbitar.

La siguiente serie de motores es el G3500. Estos motores están basados en los 3500 Diesel, con culatas individuales y cuatro válvulas por cilindro. Los motores G3508 generan de 192 kW a 900 RPM (N.A.) hasta 429 kW a 1.200 RPM (T.A.).

La configuración del motor de "Mezcla Pobre" (Lean Burn) está disponible con relaciones de compresión de 11:1 y 9:1 para un óptimo control de emisiones con diferentes combustibles. La configuración "No Mezcla Pobre" o estequiométrico utiliza un eje de levas con EIC (cierre temprano de la admisión) y está disponible con una relación efectiva de compresión de 7,5:1. Esta baja relación de compresión permite quemar combustible relativamente caliente sin necesidad de emplear el sofisticado sistema electrónico de protección.

El G3508 posee 170 mm de diámetro por 190 mm de carrera y desplazamiento de 34.5 lt y relación efectiva de compresión de 7,5:1 y relaciones geométricas de compresión de 9:1 y 11:1.

Los motores de gas G3512 generan potencias desde 448 kW a 900 RPM (N.A.) hasta 694 kW a 1.200 RPM (T.A.), poseen 170 mm de diámetro por 190 mm de carrera y un desplazamiento de 52 lt y relación efectiva de compresión de 7,5:1 y relaciones geométricas de compresión de 9:1 y 11:1.

Y los motores G3516 son los más grandes de la familia G3500. Tienen rango de potencias desde 416 kW a 900 RPM (N.A.) hasta 809 kW a 1.200 RPM (T.A.) con un desplazamiento de 69 lt, diámetro y carrera como relación de compresión igual al G3508 y G3512.

El último y más grande de las familias de motores a gas es el G3600. Están disponibles en línea de 6 y 8 cilindros y en "V" de 12 y 16 cilindros, pueden producir desde 928 kW a 700 RPM hasta 3.655 kW a 1.000 RPM.

Para rangos industriales, los motores a gas CAT para generadores están disponibles con rangos Prime desde 85 kW hasta 3.050 kW para 60 Hz y desde 70 kW hasta 3.385 kW para 50 Hz (sin ventilador).

Se debe señalar que no hay grupos electrógenos 3304 a gas porque la oportunidad de potencia y tamaño es muy limitado. También los G3406 T.A. de Baja Emisión están disponibles ahora, ya que la introducción de este modelo fue pospuesto hasta después de 1992.

CAPITULO III

COMBUSTIBLES GASEOSOS PARA MOTORES A GAS

En este capítulo estableceremos cómo determinar las características de un combustible gaseoso y si podemos utilizarlo. Veremos la cantidad de energía de diferentes gases y cómo estimar la potencia de un motor con una mezcla de combustibles gaseosos. Revisaremos cómo calcular la cantidad de aire requerido para quemar 1 m³ para diferentes gases y si podemos suministrar la calidad de mezcla requerida. Luego compararemos los resultados de nuestros cálculos con los rangos conocidos y determinaremos que potencia esperamos con cierto combustible.

La detonación en la combustión es otro factor limitante del desempeño del motor a gas. La propiedad detonante de un combustible, varía dependiendo de la mezcla de gases, más adelante veremos las variables que influyen en estos puntos. Al final del capítulo, se estará en la capacidad de determinar la aceptabilidad de un gas y estimar el comportamiento (performance) de un motor trabajando con este combustible bajo ciertas condiciones.

Para entender la operación y desempeño de un motor a gas, debemos entender algunas cosas sobre los combustibles gaseosos. Estos están compuestos principalmente de hidrocarburos (Hidrógeno + Carbono). Diferentes mezclas de gases de hidrocarburos tienen una amplia variedad de características. Será más fácil entonces examinar los gases individualmente y luego las mezclas.

Los principales hidrocarburos contenidos en el petróleo crudo y gas natural, pertenecen a tres diferentes grupos, de acuerdo a su estructura molecular:

Parafínicos.

Naftenos.

Aromáticos.

Nosotros revisaremos sólo los parafínicos, ya que la mayoría de gases usados en motores pertenecen a este grupo.

La serie parafínica (fig. 4) comienza con el gas más simple en su grupo, el metano (CH_4). Sólo los primeros 4 gases de los parafínicos están en estado gaseoso a temperatura y presión estándar. Los parafínicos más complejos pueden ser convertidos del estado líquido al gaseoso con aplicación de calor.

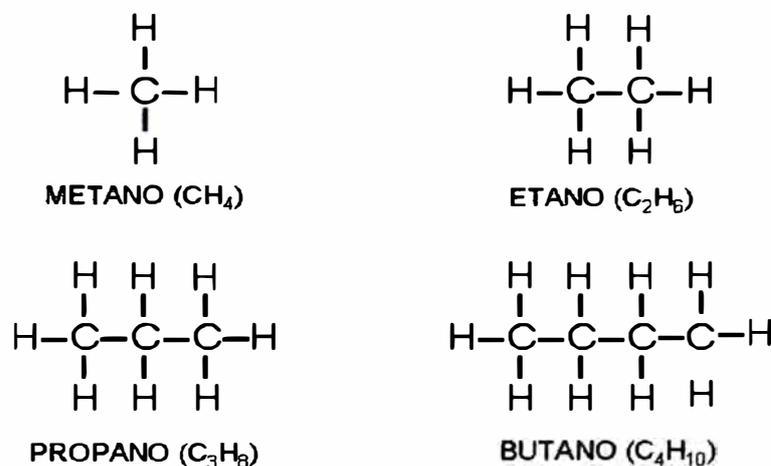
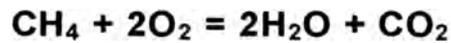


Fig. 4.- Estructura molecular de los combustibles Parafínicos.

3.1.- PODER CALORIFICO DE COMBUSTIBLES GASEOSOS:

El poder calorífico de un combustible gaseoso, generado durante la combustión, es medido en kJ/m^3 (BTU/pe^3). Este poder calorífico es determinado quemando completamente una cantidad de gas y midiendo la energía producida, y se denomina poder calorífico superior (P.c.s.).

Ahora examinemos el proceso de combustión del metano puro (CH₄, que es el constituyente principal del gas natural). La ecuación para la combustión estequiométrica del metano, es la siguiente:



El metano se combina con el Oxígeno y forma agua y dióxido de Carbono. Para diferentes gases, la cantidad de agua variará. En el interior de la cámara de combustión del motor, esta agua es convertida en vapor. En la carrera de escape, este vapor sale del motor, llevando el calor absorbido al cambiar de líquido a gas.

La energía absorbida para cambiar del estado líquido a gas del agua, es llamado "Calor latente de vaporización" (C.l.v.), el cual no es aprovechado por el motor.

La energía útil para nosotros, es el que el motor pueda convertir en energía mecánica. Luego podemos restar el calor latente de vaporización de la energía total del combustible (P.c.s – C.l.v.) y conseguir el poder calorífico inferior (P.c.i.) del gas, que es la energía útil del mismo.

En la figura 5 podemos ver el valor real para el metano. Se puede notar que la pérdida de calor es 10% del calor total disponible.

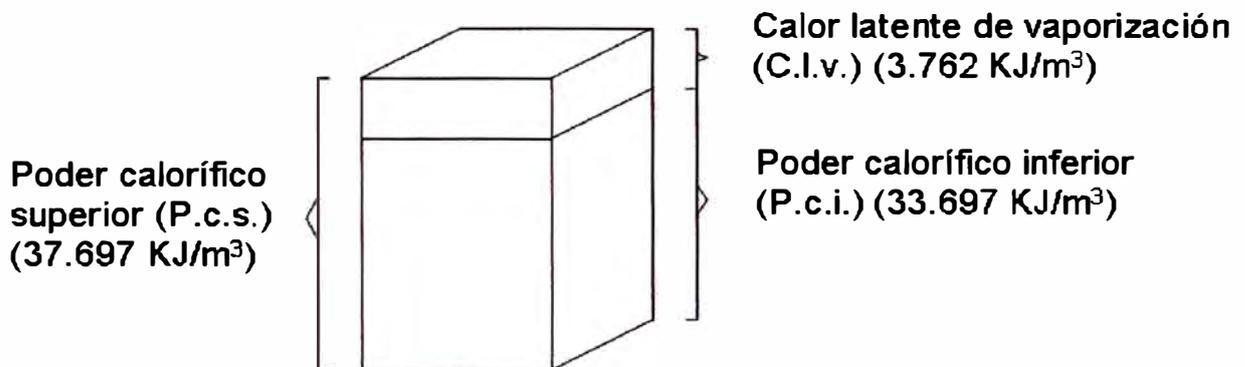
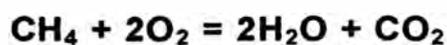


Fig. 5.- Valor del Poder Calorífico Inferior del Metano.

Habiendo determinado la energía útil (P.c.i.) del combustible gaseoso, consideraremos ahora la relación aire-combustible, primero para un gas puro y luego para la mezcla de gases. Primero debemos determinar la cantidad mínima necesaria de oxígeno para quemar un metro cúbico de gas (esto determinará qué carburador será usado en el motor).

Ahora veremos la ecuación de la combustión para el metano, para determinar la cantidad mínima de aire requerido para la combustión completa:



El número de moléculas en la ecuación, representa los volúmenes de metano y oxígeno requeridos. Esto es, 1 m³ de metano requiere 2 m³ de oxígeno.

Ahora para calcular la cantidad de aire, debemos indicar que aproximadamente el 21% del aire es Oxígeno, entonces, en volumen, los 2 m³ de oxígeno representa 9,53 m³ de aire.

$$2/0,21 = 9,53 \text{ m}^3 \text{ de aire}$$

3.2.- RELACION AIRE-COMBUSTIBLE:

La mayoría de gases son mezclas de diferentes gases, y cada mezcla requiere una única cantidad mínima de aire (relación aire-combustible) para su combustión completa. Para determinar la cantidad de aire requerido para quemar 1 m³ de mezcla, es necesario un análisis cromatográfico del gas. Para el ejemplo, utilizaremos el análisis por volumen del gas natural indicado en la tabla 3, que tiene la siguiente composición:

Tabla 3.- Composición típica del gas natural.

Metano	CH ₄	76,00 %
Etano	C ₂ H ₆	6,40 %
Propano	C ₃ H ₈	3,50 %
Isobutano	C ₄ H ₁₀	0,67 %
Isopentano	C ₅ H ₁₂	0,30 %
Nitrógeno	N ₂	12,33 %
Dióxido de Carbono	CO ₂	0,40 %
Otros		0,40 %
		100,00 %

El aire requerido para quemar 1 m³ de este gas se calcula utilizando la tabla 4 adjunta, multiplicando la cantidad de aire para cada gas, por el porcentaje en volumen de dicho gas en la mezcla. Luego se necesita 9,465 m³ de aire para quemar 1 m³ de esta mezcla de gases. Para determinar la potencia en el motor, con este gas, debemos calcular el correcto poder calorífico inferior de la mezcla aire-combustible suministrado a la cámara de combustión.

Tabla 4.- Aire requerido para diferentes gases combustibles.

GAS	% EN VOLUMEN	GAS SOLO	MEZCLA
CH ₄	76,00 %	9,53	7,243
C ₂ H ₆	6,40 %	16,67	1,067
C ₃ H ₈	3,50 %	23,82	0,834
C ₄ H ₁₀	0,67 %	30,97	0,207
C ₅ H ₁₂	0,30 %	38,11	0,114
N ₂	12,33 %	0,00	0,000
CO ₂	0,40 %	0,00	0,000
	0,40 %	0,00	0,000
			9,465

El combustible gaseoso será otra mezcla. Usando la tabla 5, calculamos el poder calorífico inferior del gas "X", multiplicando el porcentaje en volumen de cada gas por su respectivo poder calorífico inferior. La suma total corresponde al poder calorífico inferior de nuestro gas, es decir 33.934 kJ/m³.

Tabla 5.- Poder calorífico Inferior del gas combustible.

GAS	% EN VOLUMEN	GAS SOLO	MEZCLA
CH ₄	76,00 %	33.934	25.790
C ₂ H ₆	6,40 %	60.753	3.888
C ₃ H ₈	3,50 %	87.647	3.068
C ₄ H ₁₀	0,67 %	115.510	774
C ₅ H ₁₂	0,30 %	138.157	414
N ₂	12,33 %	0	0
CO ₂	0,40 %	0	0
	0,40 %	0	0
			33.934

Luego calculamos el poder calorífico inferior de la mezcla aire-combustible suministrado a la cámara de combustión. Podemos ver que nuestro gas contiene 3.934 kJ/m³ y requiere 9,465 m³ de aire por m³ de gas combustible, para su completa combustión.

El poder calorífico inferior de la mezcla aire-combustible, se calcula dividiendo el poder calorífico inferior del combustible entre el volumen total de la mezcla aire-combustible.

$$33.934/(1 + 9,46) = 3.243 \text{ kJ m}^3$$

Todos los motores CAT son probados y rateados (cálculo de la potencia nominal) en la fábrica de Peoria, USA. El combustible es gas natural comercial con un poder calorífico inferior de 33,711 kJ/m³. Bajo estas condiciones, el poder calorífico inferior de la mezcla aire-combustible es 3,211 kJ/m³ (Tabla 6). Si usamos un combustible

diferente, tenemos que recalcular la capacidad de potencia del motor bajo estos valores.

Tabla 6.- Rangos estándar para los motores Caterpillar.

GAS NATURAL DE PEORIA - ILLINOIS

PODER CALORIFICO INFERIOR : 33.711 KJ/m³

RELACION AIRE-COMBUSTIBLE : 9,5 : 1

**PODER CALORIFICO INFERIOR : 3.211 KJ/m³
DE MEZCLA AIRE-COMBUSTIBLE**

Como ejemplo, tomaremos un motor con potencia nominal de 372 kW a 1.200 RPM. Podemos determinar la potencia de salida con este combustible, multiplicando el poder calorífico inferior de la mezcla aire-combustible de nuestro combustible por la potencia del motor y dividir el resultado entre el poder calorífico inferior del combustible de Peoria, o sea, 3.211 kJ/m³.

$$(372 \text{ kW} \times 3.243 \text{ kJ}) / 3.211 \text{ kJ} = 376 \text{ kW}$$

3.3.- BIOGAS O GAS DE CLOACA:

El gas de cloaca, biogás o gas digestor es una mezcla variable de muchos componentes gaseosos. El gas de cloaca contiene sólo un componente combustible en cantidad apreciable, el metano (CH₄) el resto son gases inertes (N₂ y CO₂).

Un típico análisis del biogás sería como sigue:

Metano (CH ₄)	66% combustible.
Dióxido de Carbono (CO ₂)	31% No combustible.
Nitrógeno (N ₂)	2% No combustible.
Otros	1% No combustible.
	100%

Otros gases pueden existir en pequeñas cantidades, pero generalmente, su contribución a las propiedades de la mezcla es despreciable.

Para calcular el aire requerido y el poder calorífico inferior de la mezcla del gas de cloaca, sólo necesitamos los valores concernientes al único combustible, el metano. Los cálculos para el poder calorífico inferior y aire requerido para la combustión se muestran a continuación:

Poder calorífico inferior del biogás:

$$0,66 \times 33.935 = 22.397 \text{ kJ/m}^3$$

Aire requerido:

$$0,66 \times 9,53 = 6,29 \text{ m}^3$$

6,29 m³ de aire más 1 m³ de gas nos da 7,29 m³ total.

Entonces el poder calorífico inferior de la correcta mezcla aire-combustible:

$$22.397 \text{ kJ}/(1 \text{ m}^3 + 6,29 \text{ m}^3) = 3.071 \text{ kJ}/ \text{m}^3$$

Entonces nuestro motor de 372 kW a 1.200 RPM, será capaz de producir sólo 356 kW con este Biogás.

Comparemos la capacidad de potencia de los 2 combustibles estudiados:

Nuestro ejemplo de gas natural puede producir 372 kW con 33.934 kJ/m³

Con el biogás del ejemplo podemos producir 356 kW con 22.397 kJ/m³ de gas.

El poder calorífico del biogás es sólo 66% del gas natural usado, pero el poder calorífico inferior de la mezcla aire-combustible es casi la misma (3.071 kJ/m³ para el biogás y 3.243 kJ/m³ para el gas natural), la capacidad de potencia del Biogás es el 95% de la capacidad de potencia del gas natural. Esto nos indica que el motor responde al poder calorífico inferior de la mezcla aire-combustible y no directamente al poder calorífico inferior del combustible.

En nuestros ejemplos que hemos visto, el gas natural puede dar más potencia que la nominal, y el biogás menos potencia.

Con el gas natural, no es recomendable aplicar más carga que la nominal, para prevenir sobrecargas térmicas en el motor. Con el biogás, podemos incrementar la potencia incrementando el refuerzo de aire del turbo. Lo que hemos podido aprender de nuestros cálculos es la utilidad del combustible y qué ajustes se necesitan en el motor. El típico biogás posee un alto porcentaje de gases inertes que

empeoran la eficiencia. Nuestra potencia de salida estimada no considera la energía perdida. Como resultado, se esperará aproximadamente hasta 5% de pérdida de potencia que la estimada con biogás que contienen 30-35% de gases inertes.

3.4.- GOLPETEO DURANTE LA COMBUSTION EN LOS MOTORES ENCENDIDOS POR CHISPA:

El golpeteo en la combustión se presenta como detonación ó pre-encendido.

Pre-encendido

Es el quemado producido por el calor de la compresión antes del encendido de la bujía. Esto es normalmente el resultado de puntos calientes en la cámara de combustión. Puntos calientes y la compresión encienden el combustible alejado de la bujía, luego, la chispa enciende el combustible cercano. Los 2 frentes de llama colisionan, causando turbulencia extrema y golpeteo durante la combustión.

Detonación

Es la explosión en el quemado del combustible después del encendido de la bujía. En la cámara de combustión, la presión se incrementa, lo cual causa el encendido en un segundo punto. Como en el pre-encendido los 2 frentes de llama colisionan, causando el golpeteo. La detonación puede ser eliminado por ejemplo, retardando el encendido.

El golpeteo durante la combustión es el fenómeno de mayor consideración porque limita el desempeño del motor debido a la combustión ineficiente. Incluso acorta la vida del motor por la excesiva tensión mecánica y térmica. El golpeteo en la combustión es también referido como detonación.

En cualquier motor a gas, la combustión no ocurre instantáneamente. Es iniciado por la bujía, y la llama toma un tiempo corto para moverse a través de la cámara de combustión, quemando la mezcla e incrementado la presión del cilindro. En un instante dado durante el periodo de combustión, algo de la mezcla se ha quemado y algo está por quemarse. La porción de la mezcla sin quemarse, comúnmente es llamado gas final (end gas). Es calentado por compresión de los gases quemados y por el intenso calor de radiación por el avance del frente de llama.

En el “encendido normal” (fig. 6): La chispa enciende el combustible en un solo lugar. El frente de llama progresa desde allí, consumiendo toda la mezcla en la cámara de combustión en un “barrido”.

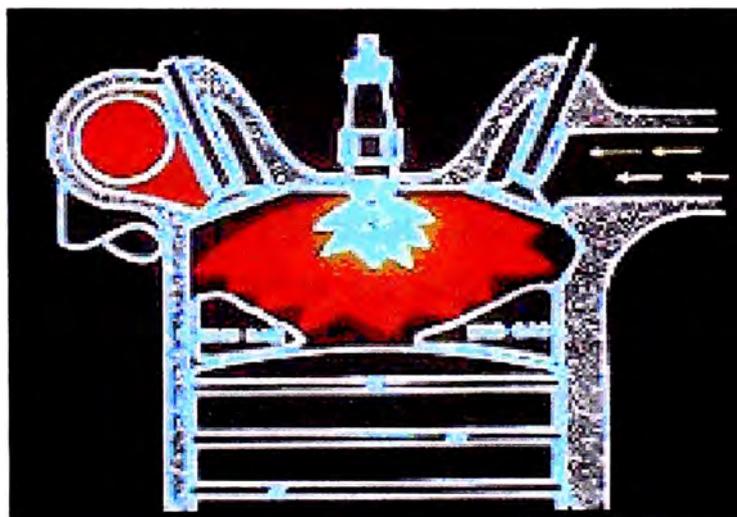


Fig. 6:- Combustión Normal.

Si la temperatura y presión exceden ciertos valores, la detonación ocurre ya que el gas final se enciende espontáneamente antes de que llegue la llama. Esta explosión causa extremadamente altas presiones en el cilindro, lo cual se puede reconocer por el sonido del golpeteo o explosión (fig. 7).

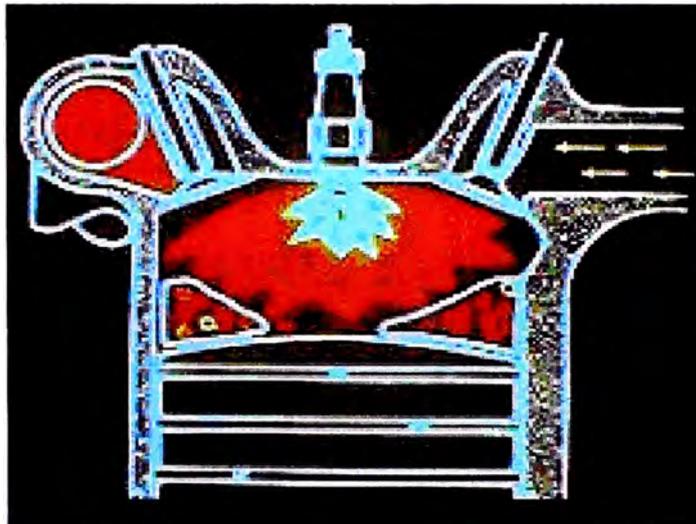


Fig. 7.- Golpeteo durante la combustión.

La detonación depende de la temperatura, presión y tiempo de quemado de la mezcla en el gas final. Cualquier condición que incrementa su temperatura hacia el valor crítico, tal como un incremento en la relación de compresión o en la temperatura del aire de admisión o cualquier condición que dé al gas final más tiempo para reaccionar, como una velocidad baja del motor o una ruta más larga de llama, incrementarán la posibilidad de detonación.

Un motor detonará cuando el tiempo de reacción del gas final es más corto que el tiempo normal de viaje de la llama a través de la mezcla. El tiempo de reacción es el tiempo en que el gas puede estar en la

cámara de combustión bajo incremento de presión y temperatura antes que espontáneamente se encienda.

Como se dijo antes, las soluciones al problema de la detonación son:

- Usar un combustible de mayor octanaje (número de metano).
- Reducir la relación de compresión
- Reducir la temperatura del aire de admisión.
- No sobrecargar el motor.



Fig. 8.- Daños de un pistón por pre-encendido.

Como se ve en las figuras 8 y 9, las piezas del motor siempre se rompen. En el caso de los motores 3500, la detonación ocasiona que el pistón se agarrote. También se dice que en un motor 3500, si se escucha una detonación, es probablemente muy tarde. En la actualidad, los motores son equipados con sensores de detonación como equipo estándar.



Fig. 9.- Daños por detonación en un pistón.

Las superficies múltiples de encendido, es un tipo de pre-encendido o detonación, causado por depósitos severos en la cámara de combustión, los cuales encienden el combustible en muchos puntos (fig. 10)..

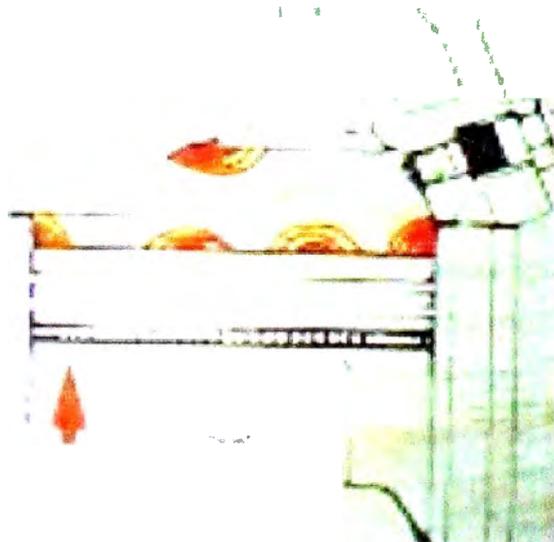


Fig. 10.- Múltiples puntos de ignición.

3.4.1.- FACTORES QUE INFLUYEN EN EL GOLPETEO:

Características del combustible:

La tendencia de un combustible a detonar, puede ser medido por su número de octano (o metano en gases) en pruebas de laboratorio, se ha encontrado que la tendencia a la detonación para los hidrocarburos, se incrementa con el número de átomos de carbono. Un número de octano alto indica una alta resistencia a la detonación. En la tabla 7 se muestra los valores promedios del número de octano de algunos gases.

Tabla 7.- Resistencia a la detonación.

GAS	OCTANAJE
Metano (CH ₄)	130,0
Etano (C ₂ H ₆)	103,0
Propano (C ₃ H ₈)	99,6
Isobutano (C ₄ H ₁₀)	98,4
Isopentano (C ₅ H ₁₂)	91,6

Relación de compresión:

Incrementando la relación de compresión se incrementará la temperatura de la mezcla, si ésta se incrementa más allá de su temperatura crítica, la cual es diferente para cada gas, el gas final se auto-encenderá y causará detonación, por lo tanto, incrementando la relación de compresión se incrementa la tendencia a la detonación.

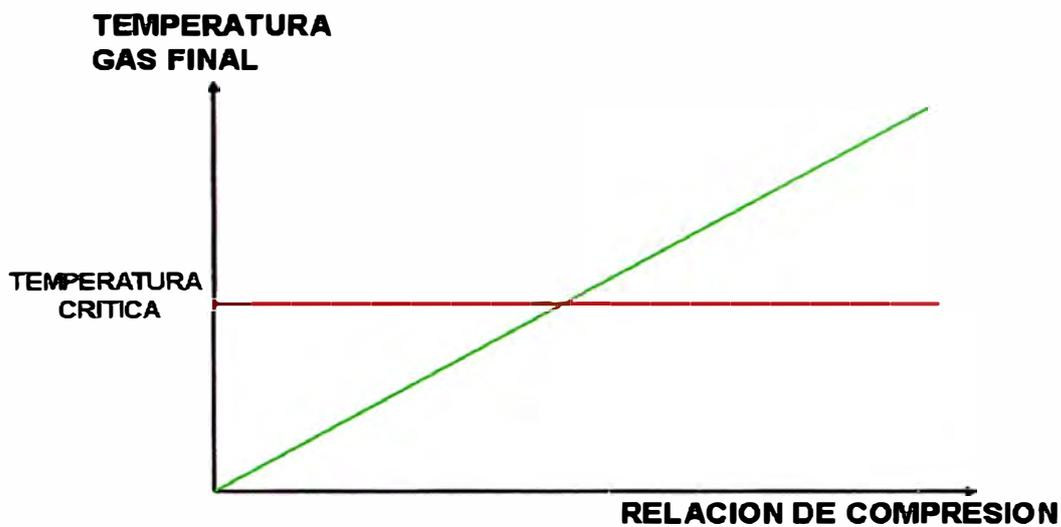


Fig. 11.- Detonación vs. Relación de Compresión.

Diferentes combustibles pueden trabajar con diferentes relaciones de compresión antes que se auto-enciendan. La tabla 8 muestra las relaciones de compresión críticas para los gases combustibles más comunes. Los valores fueron obtenidos en pruebas de laboratorio bajo condiciones controladas, y por supuesto, diferirán en algo de las relaciones de compresión usados en la práctica. Sin embargo, explica que diferentes composiciones de combustibles pueden tener características completamente diferentes de detonación, a pesar que los componentes son los mismos, sólo en cantidades diferentes.

Tabla 9.- Relación de Compresión Crítica para algunos gases combustibles.

GAS	RELACION DE COMPRESION CRITICA
Metano (CH ₄)	15,0 : 1
Etano (C ₂ H ₆)	14,0 : 1
Propano (C ₃ H ₈)	12,0 : 1
Isobutano (C ₄ H ₁₀)	8,0 : 1
Isopentano (C ₅ H ₁₂)	6,4 : 1

Temperatura de mezcla:

La temperatura de ingreso y su efecto en la temperatura de la mezcla también deben ser considerados.

Incrementando la temperatura de admisión, se incrementa la temperatura del gas final (porción de la mezcla sin quemar). Esto disminuye el tiempo de reacción, incrementando la tendencia del gas final a la detonación. Algunos combustibles son más sensibles a la temperatura de la mezcla que otros.

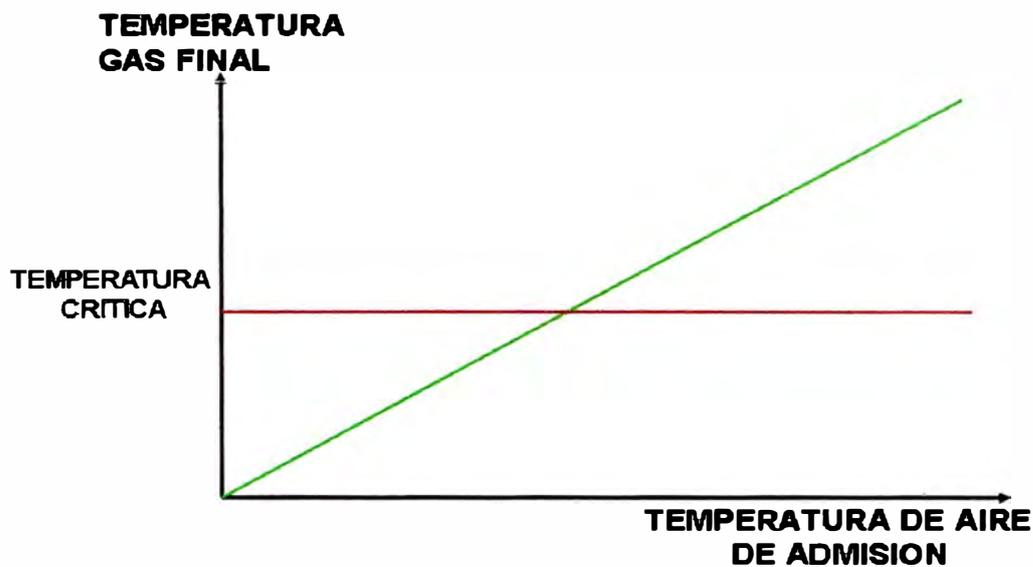


Fig. 12.- Detonación vs. Temperatura de aire de admisión.

Avance del encendido:

Es conocido el hecho que el combustible propenso a la detonación requiere que se retarde el avance del encendido.

En la figura 13 se observa las curvas de presión vs. ángulo de giro para diferentes tiempos de encendido. El pico de presión aumenta cuando la chispa se adelanta. La tendencia a la detonación es promovido por el incremento de la presión, lo cual incrementa los niveles de temperatura. El ángulo de encendido de los motores CAT está publicado en los manuales de servicio.

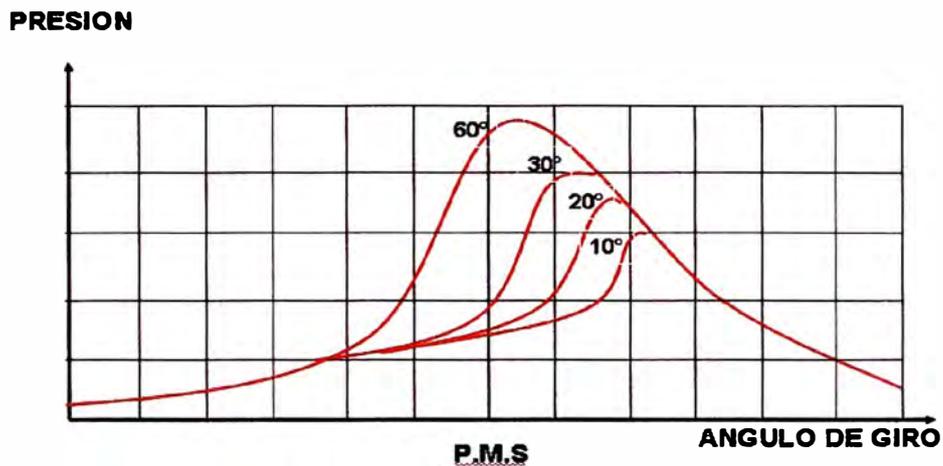


Fig. 13.- Detonación vs. Angulo de encendido.

Carga (BMEP):

Cuando un motor opera a baja carga (baja presión en los cilindros, bajo BMEP), la temperatura del gas final y condiciones de presión son correspondientemente menos severos, lo cual incrementa la resistencia a la detonación. Contrariamente, condiciones de cargas altas incrementan la tendencia a la detonación.

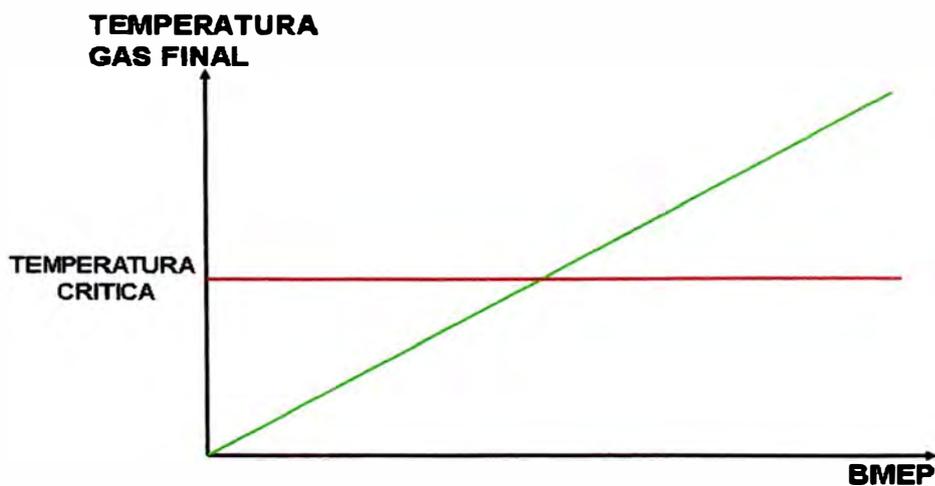


Fig. 14.- Detonación vs. Carga.

Relación aire-combustible:

La relación aire-combustible y la tendencia a la detonación se muestra en la figura 15. La combustión en condiciones óptimas se obtiene cuando la relación aire-combustible está cerca de la estequiométrica (relación químicamente correcta de oxígeno y combustible). Con una mezcla más pobre o más rica, el gas final es menos reactivo, y esto disminuye la tendencia a la detonación. En motores a gas estequiométricos, se prefiere arrancar con mezcla un poco pobre. El exceso de aire asegura la combustión completa del combustible, dando un óptimo consumo específico. Reduce la carga térmica levemente en el motor, e incrementa el margen de seguridad contra la detonación.

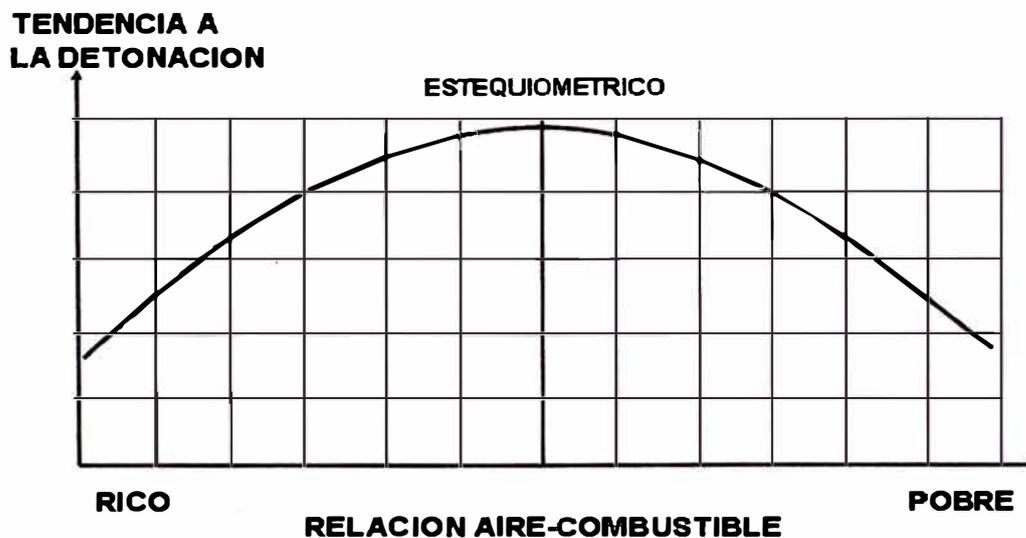


Fig. 15.- Detonación vs. Relación Aire-Combustible.

En la figura 16 se muestra la relación entre la temperatura en el colector de admisión, la carga (BMEP) y el ángulo de encendido. La detonación se puede evitar retardando el

encendido o reduciendo la temperatura en el múltiple de admisión para una carga dada o temperatura de admisión.

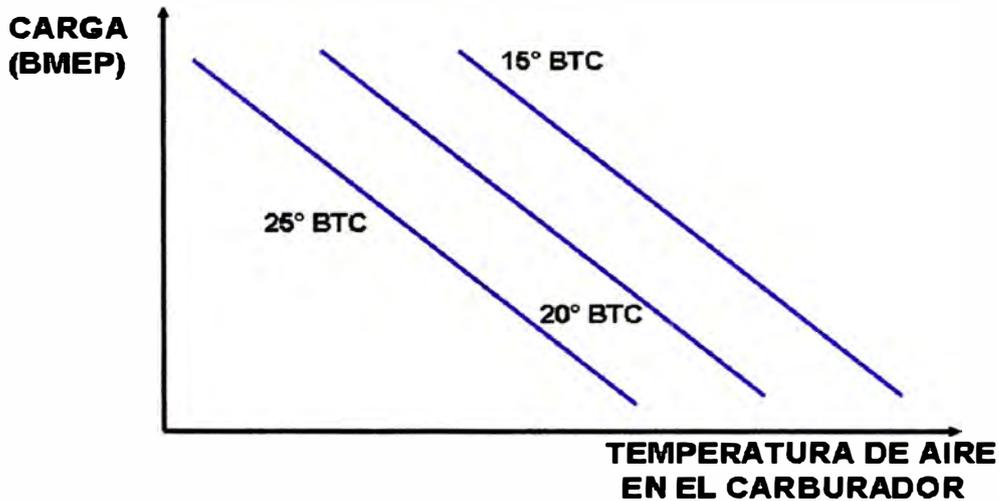


Fig. 16.- Límites de Detonación.

Suministro de combustible:

Es esencial que el gas sea adecuadamente filtrado. La falla en el filtrado, acortará la vida del motor; muchos motores se han destrozado debido a la contaminación en el suministro de combustible.

Los abrasivos causan desgaste cuando entran a la cámara de combustión. Estos son:

- Polvo
- Arena
- Escoria de soldadura
- Oxidos

Los líquidos pueden acumularse en el colector de admisión y trabar al motor cuando el acelerador se abre rápidamente.

En la figura 17 se muestra un esquema de un separador que removerá los líquidos del gas. Este separador es instalado aguas abajo de la válvula reductora de presión para sacar ventaja de la caída de temperatura a través de la válvula reductora de presión. Cuando el combustible entra al separador, la humedad y los hidrocarburos gaseosos más pesados caen y son atrapados en el separador. Una línea de drenaje de líquido es usado para drenar manual o automáticamente.

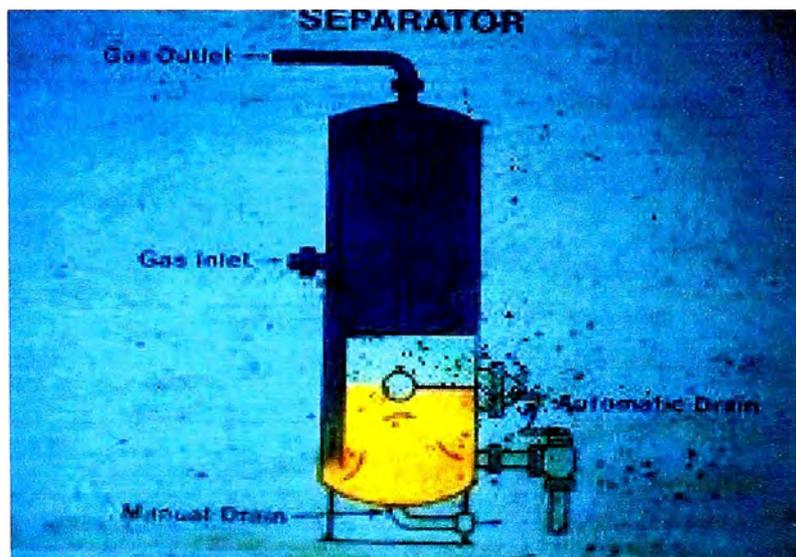


Fig. 17.- Separador de líquidos.

Cuando hay sulfuro de hidrógeno presente, se usa un scrubber o "desulfurador" para bajar el contenido de azufre por debajo de 0,1%.

En la figura 18, se muestra un esquema de la operación de un lavador usado para tratar el gas ácido. En este aparato, el gas

el burbujeado a través de un líquido para remover el sulfuro de hidrógeno permitiendo que el líquido reaccione químicamente con el contaminante. El azufre también puede ser removido usando un filtro separador con elementos químicamente tratados.

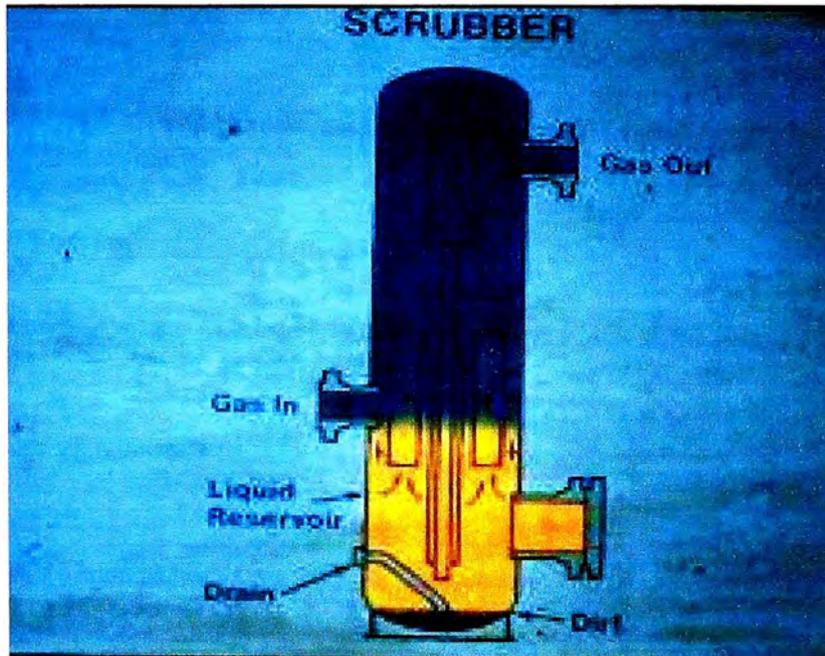


Fig. 18.- Desulfurador.

CAPITULO IV

SISTEMAS DEL MOTOR A GAS

4.1.- SISTEMA DE COMBUSTIBLE :

El sistema de combustible de un motor a gas tiene que recibir el gas de un recurso externo, controlar la cantidad, mezclarlo con aire y proteger el sistema de fallas en los componentes. El sistema de suministro de combustible Caterpillar, consiste de un regulador de presión, línea de balance y carburador, como se puede ver en la figura 19.

Nota: el gas suministrado al regulador debe incluir una válvula shutoff suministrado por el cliente para paradas normales del motor. La válvula de parada de emergencia será cubierta bajo los controles del motor.

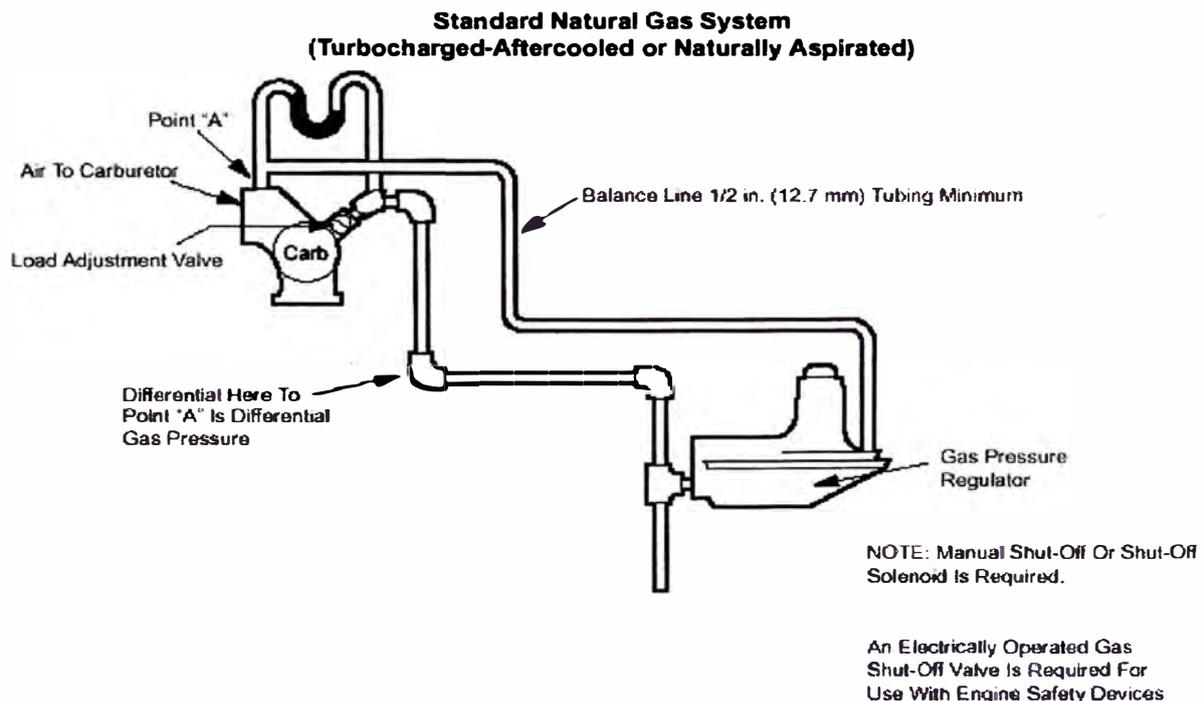


Fig. 19.- Esquema del sistema de combustible.

Los reguladores de presión son estándares en todos los modelos turboalimentados (T.A.) CAT. Pero son ofertados como accesorios para motores de aspiración natural (N.A.).

El regulador de presión de gas (fig. 20) controla la presión del gas al carburador en relación a la presión de aire en el carburador. En “reguladores de presión positiva” un resorte es situado en la zona del aire del diafragma y empuja hacia abajo. Este movimiento abre la válvula a través del pivot situado en la zona del gas del diafragma. Esto permite que ingrese gas a la válvula debajo del diafragma. La apertura de la válvula se detiene cuando la presión del gas produce una fuerza en el diafragma, igual a la fuerza producida por la presión del aire más el resorte. El gas ingresa por abajo.

Cuando la presión de gas aumenta debajo del diafragma, la válvula se cierra. El resorte ayuda a abrir la válvula.

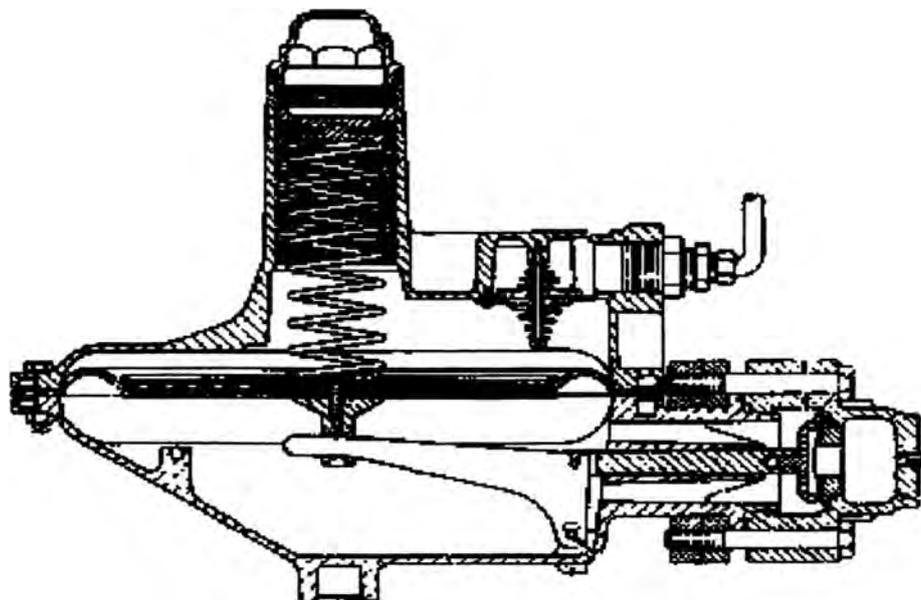


Fig. 20.- Regulador de presión de gas.

Cuando la carga del motor se incrementa, el gobernador abre la válvula mariposa del carburador y permite entrar más gas al motor. Esto hace disminuir la presión en el lado del gas del regulador, permitiendo que el resorte abra la válvula hasta que se alcance la presión de equilibrio. Cuando los reguladores de presión son suministrados por el cliente, se debe verificar que la restricción en la tubería, entre el regulador y el carburador, sea mantenida al mínimo, para permitir respuestas rápidas del regulador al incrementar la demanda de combustible por cargas transitorias en el motor. La diferencia entre la presión de gas y la presión de aire pueden ser cambiados ajustando la precarga en el resorte.

Para mantener un ajuste exacto de la presión del gas, el lado del aire del regulador es conectado al ingreso del aire del carburador por una línea de balance. Esto causa que la presión en el lado del aire del regulador sea igual a la presión del aire del carburador, por ejemplo, un pequeño vacío en un motor de A.N. o una presión positiva en un motor T.A. Esto permite al regulador proveer la correcta presión del gas bajo cualquier condición de carga. Se recomienda una línea de balance en motores de aspiración natural con reguladores suministrados por el cliente. Esto permite al regulador compensar la restricción del filtro de aire. Motores turboalimentados están equipados con reguladores estándares y línea de balance ya que el regulador debe sentir la presión de refuerzo del turbo.

La válvula estabilizadora de venteo, mostrada en la figura 21, está provista con un diafragma amortiguador de oscilación. En casos extremos, puede impedir la respuesta a cargas transitorias, si esto ocurre, se debe consultar a la fábrica para las recomendaciones y posibles ajustes.



Fig. 21.- Válvula estabilizadora de venteo.

Una línea compensadora actúa como una válvula check modificada en la línea de balance, esto es usado sólo en los motores G379 y asiste a la válvula estabilizadora de ventilación debido a las características de respiración de un motor en "V" de 8 cilindros.

En la figura 19, nótese la línea de balance que conecta la parte superior del regulador a la línea de ingreso de aire al carburador. Esta línea de balance es recomendado en todos los motores de aspiración natural, pero algunos no lo tienen porque Caterpillar vende sus motores de aspiración natural sin reguladores. Con la línea de balance instalado, en operación normal, cualquier restricción en la admisión, debido a condiciones del filtro, o restricciones en la tubería, causa un vacío, el cual es sentido en la parte superior del diafragma del regulador. Esto restringe el combustible, asegurando una consistente relación aire combustible en relación con el monto de la restricción. Si el filtro de aire está sucio, la línea de balance, debido al vacío, hace que el regulador se cierre. La figura inferior muestra un motor de alta presión, turboalimentado y post-enfriado, con un sistema de carburador Impco 200. Nótese que la línea de balance conecta la parte superior del regulador al aire de ingreso al

carburador, al igual que en el motor de A.N. Su función es similar. En condiciones de baja carga hay presión mínima generada por el turbo (normalmente medida en centímetros de agua), pero al incrementar la carga hace aumentar la presión de salida del turbo. En un motor estequiométrico la presión normal a plena carga alcanza 356 mm de Hg (esto corresponde a cerca 279 mm de Hg de presión en el colector de admisión). Esta presión empuja hacia abajo al diafragma del regulador, asegurando que el flujo de combustible sea más que el que presentaría sin el. Esto nuevamente mantiene una constante relación aire-combustible en el colector de admisión. Si el reforzador (boost) del turbo incrementa la presión de la línea de balance, la válvula reguladora se abrirá.

Recordemos que la principal función del regulador principal de presión es proveer gas al carburador a una presión constante sobre la presión del aire entrante. El regulador hace esto comparando constantemente la presión del gas que está siendo suministrado al carburador (sensado en la parte inferior del diafragma del regulador), con la presión de aire de admisión del carburador, que está siendo sensado en la parte superior del diafragma del regulador a través de la Línea de Balance, esta presión es llamada presión diferencial del gas.

La relación aire-combustible es controlada por la presión diferencial, es decir, entre la presión de gas y la presión de aire. Como la diferencia de presiones es muy pequeña, el diferencial de presión es medido en centímetros de agua con un manómetro de columna de agua. Usualmente, la presión del gas es más grande que la presión del aire para conseguir la correcta relación aire-combustible.

Caterpillar utiliza 2 tipos de reguladores, el Fisher y Sprague.

4.1.1.- SISTEMAS ALTERNOS DE COMBUSTIBLE:

Hay muchos combustibles gaseosos alternativos que pueden ser usados para producir potencia en un motor. Los combustibles más comunes son:

- Biogás (gas digestor).
- Propano.
- Gas licuado de petróleo (GLP).
- Sistemas duales de combustible.

Los motores a gas CAT de aspiración natural requieren una presión de gas entre 14 y 140 kPa (2 y 20 Psi). Los motores turboalimentados y post-enfriados requieren una presión entre 83 y 140 kPa (12 y 20 Psi). En muchos casos, se encontrará presión de gas debajo de 83 kPa (12 Psi) y otras veces también debajo de 14 kPa (2 Psi).

También, si la presión del gas es demasiado baja comparada con los requerimientos del motor, tiene que ser instalado un compresor para reforzar la presión del gas y mantenerlo en los niveles requeridos. Este compresor de gas puede ser un motor eléctrico o un compresor acoplado al motor. En la tabla 9 se indican los valores mínimos de presión requerida, de lo contrario se debe utilizar un compresor para elevar la presión del gas.

Tabla 9.- Presión mínima para uso de compresor para alimentación de gas.

Motor aspiración natural	14 kPa (2 psi)
Motor turboalimentado	83 kPa (12 psi)

NOTA: Algunas instalaciones de motores de aspiración natural han sido diseñadas para trabajar con presión de gas tan bajos como 152 mm de agua. Estas instalaciones requieren líneas de suministro de gas muy largas y la carga en el motor debe ser constante y aplicada muy lentamente. En el caso de motores turboalimentados, Caterpillar ofrece ahora “configuraciones de baja presión de gas” que tienen la cámara de mezcla del carburador antes del ingreso al turboalimentador. Estos motores operarán con muy bajas presiones de suministro de gas, pero tienden a ser menos rápidos al cambio de cargas que sus similares de alta presión.

Biogás:

El biogás tiene un poder calorífico superior de aproximadamente 24.584 kJ/m³ y requiere un carburador diferente llamado “carburador digestor”. Las demás partes del motor son estándares. Debido al cambio del carburador y al bajo rango de energía del combustible, la potencia de salida se reduce en un 7%. El octanaje del biogás excede los 125.

Para el biogás, el sistema de combustible es el mismo que para el gas natural, excepto por el carburador. Un “carburador digestor” es usado por la relación aire-combustible requerido con un gas digestor. Con biogás, el motor es limitado su potencia en 10% menos que la nominal, debido al bajo poder calorífico de la mezcla aire-combustible y al alto contenido de gases inertes en el combustible.

Propano vaporizado:

El propano vaporizado es usado en lugares donde las regulaciones de protección contra incendios no permiten tuberías de suministro con propano líquido. El sistema de

combustible parece el mismo que en los sistemas estándares de gas natural, pero se emplea un regulador opcional de presión de gas, el cual controla la presión diferencial negativa.

Propano líquido:

El propano líquido tiene un poder calorífico superior de 93.123 kJ/m³. Trabaja mejor con un carburador estándar. Se necesita un regulador principal de presión de vacío para proveer una presión diferencial negativa. Se necesita retardar en 5° el encendido respecto al gas natural. Se usa líneas de balance separados y una válvula de carga. Los costos de operación son mayores que con gas natural.

Un sistema con propano líquido incluye (comenzando de la parte inferior derecha de la figura 22): de un tanque de almacenamiento, un filtro de malla de alambre, un vaporizador (las líneas negras muestran el flujo de agua caliente) y una válvula de ajuste de carga. El vaporizador/regulador usa agua caliente de las chaquetas del motor para vaporizar el propano líquido. Esto mantiene una presión diferencial negativa constante y no es ajustable.

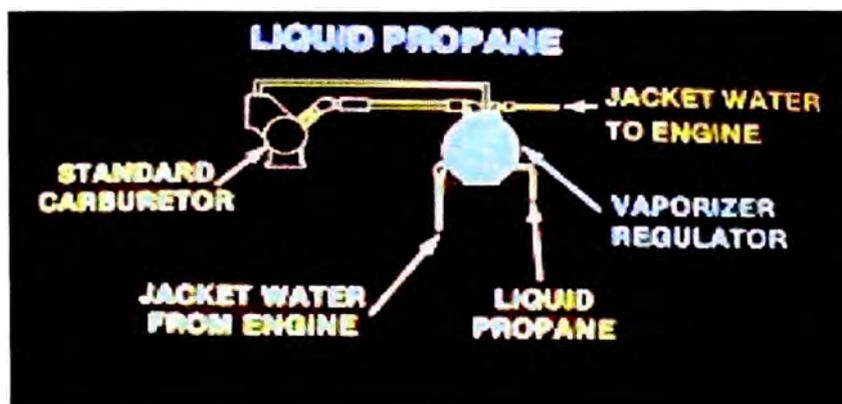


Fig. 22.- Sistema de alimentación para gas propano líquido.

NOTA: Para prevenir el congelamiento del vaporizador cuando se aplica carga a un motor frío, como en un generador en stand-by, se recomienda usar un calentador de agua de las chaquetas. El vaporizador debe estar siempre montado lo más cerca posible al carburador para minimizar la restricción y proveer respuesta óptima.

Como el propano está en estado líquido en el tanque, se requiere un vaporizador. Algunos vaporizadores son calentados con el agua de las chaquetas del motor, otros con los gases calientes provenientes de la combustión del propano.

El flujo de salida del vaporizador (fig. 23) es controlado por otra válvula de diafragma, operada cerca de la abertura de salida. El vaporizador es calentado para prevenir el congelamiento. El propano líquido entra por el extremo inferior izquierdo. El propano líquido entra a través del filtro de malla de alambre y fluye a través del tubo de cobre al vaporizador. El tubo largo en la parte superior izquierda, lleva el combustible vaporizado al carburador; el flujo es ajustado por la válvula de ajuste de carga. La Línea de Balance está conectado a la tapa.

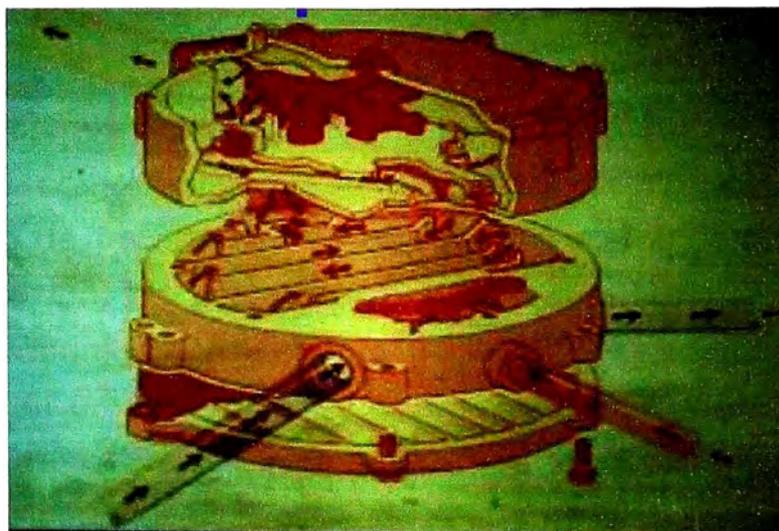


Fig. 23.- Vaporizador.

Sistemas duales de gas combustible:

Cuando el suministro de gas combustible no es relevante o la cantidad de combustible producido no es suficiente, se requiere otro gas combustible de reserva. En esta situación, puede usarse un sistema dual de combustible. Cuando el suministro de combustible primario es interrumpido o si cae la presión menos del mínimo requerido, el sistema dual de combustible permitirá cambiar al combustible de reserva para la operación continua.

Un sistema de gas combustible dual puede operar con dos gases combustibles diferentes, con diferentes poderes caloríficos, pero sólo se puede utilizar un combustible a la vez. Usualmente, el combustible primario es el combustible que tiene menor poder calorífico producido en el área. Algunos sistemas pueden cambiar automáticamente de uno a otro combustible. Sin embargo, en la práctica se usa un switch de vacío para operar una válvula solenoide eléctrica en la línea del propano y una válvula de corte de gas manual en la línea de gas natural.

Instalaciones con biogás como combustible primario y gas natural como combustible de reserva son muy comunes en plantas de tratamiento de basura, debido al recurso natural de energía que es producido por la misma planta. Como se vió anteriormente, normalmente necesitaríamos limitar la potencia del motor en 10% menos y avanzar el punto de encendido en 5° sobre lo establecido para el gas natural. Entonces, debe usarse dos reguladores por separado. En la línea del biogás, se usa un regulador convencional, y en el gas natural un regulador de

presión negativa para compensar las pérdidas por el carburador digestor que se usa. También se encontrará válvulas de carga separados para ajustar las diferentes relaciones aire-combustible. Para el cambio automático de un gas a otro, se debe instalar en la línea del biogás un switch sensor de presión. Cuando la presión cae menos de 21 kPa (3 Psi) en motores de aspiración natural ú 83 kPa (12 Psi) en motores turboalimentados, la válvula solenoide cierra la línea del biogás. La presión diferencial cambiará de positivo a negativo cuando automáticamente se abra el regulador del gas natural. El mismo sistema trabaja para cualquier combinación donde el gas con menor poder calorífico es el combustible primario.

Sistemas con combustible como el propano, son muy poco usados por Caterpillar, debido a su alto costo de operación, inclusive el Diesel se considera mucho más económico.

Los motores a gas responden más lento a los cambios de carga que los motores Diesel. Cuando la carga cambia en un motor a gas, el motor trabaja con la mezcla aire-combustible en el múltiple hasta que:

- 1.- La válvula de mariposa del carburador sea movida por el gobernador.
- 2.- El diafragma responda al cambio del flujo de aire.
- 3.- El regulador de presión de gas responda al cambio del requerimiento de combustible.

Esta secuencia toma lugar cuando la carga es aplicada o disminuida.

El sistema de combustible en el motor ha sido diseñado con la mínima restricción para una óptima respuesta del motor. Sin embargo, si hay una restricción en la tubería de suministro de gas al regulador de presión de gas, esto afectará la respuesta del motor a cargas transitorias. Esto debería ser considerado para que el motor responda a cargas transitorias, ya que la presión de gas en el regulador debería ser constante durante estas cargas.

4.1.2.- EL CARBURADOR:

Ahora veremos la parte accesoria del motor que es responsable de la mezcla del combustible con el aire. Todos los motores a gas Caterpillar excepto los G3600, están equipados con carburadores IMPCO tipo diafragma. Se usa un carburador IMPCO 200 (fig. 24) en los motores en línea y dos en los motores de la series G300 en "V" (uno por banco). Los motores 3304 y 3306 tienen un carburador de diafragma sencillo. Los motores G342, G379 y G398 están equipados con carburadores de doble diafragma. El motor G399 está equipado con dos carburadores de triple diafragma. El motor G3600 usa un sistema de inyección directa.



Fig. 24.- Carburador IMPCO 200.

Con la introducción del motor G3500 se ha introducido también el carburador sencillo IMPCO 600 (fig. 25) en los G3508 y G3512 y el IMPCO 600 de doble diafragma en el G3516. El número en la nomenclatura del carburador IMPCO representa la potencia en HP que cada diafragma puede producir en el carburador.

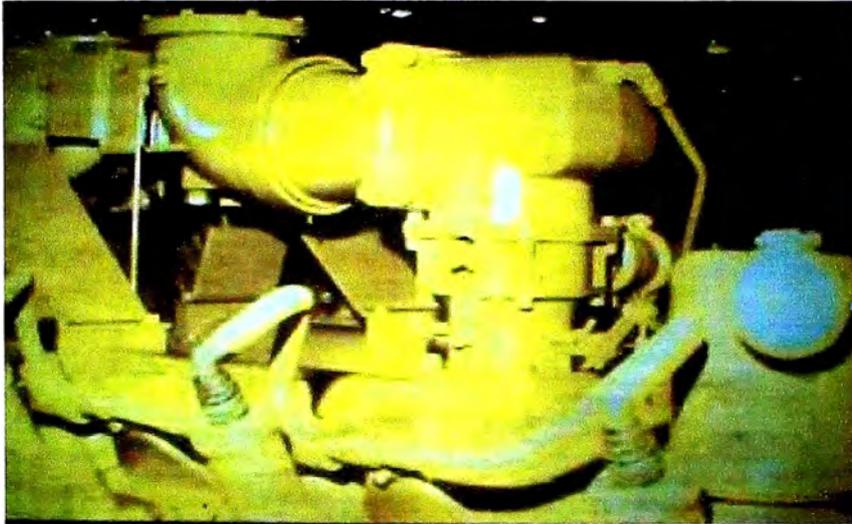


Fig. 25.- Carburador IMPCO 600.

Antes de entrar en mayores detalles sobre el carburador, revisemos el uso del manómetro y porqué se usa agua en lugar de mercurio, o manómetros en Psi.

Bajas presiones de gas son medidos con un manómetro diferencial de agua (fig. 26). Un kPa en la parte izquierda del tubo en "U" hará que el agua suba en el otro extremo del tubo 10,2 cm.

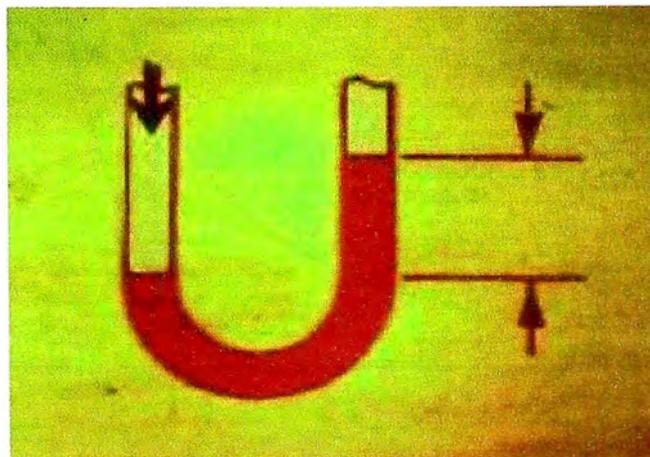


Fig. 26.- Manómetro Diferencial de agua.

El mercurio (fig. 27) es usado en lugar de agua para algunas mediciones. Un kPa produce sólo 0,75 cm de altura en la columna del lado derecho.

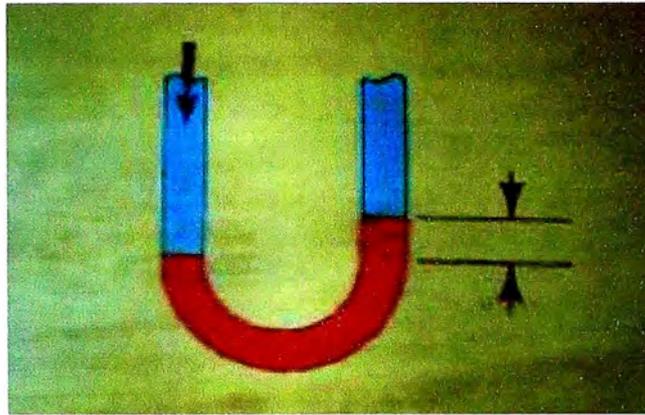


Fig. 27.- Manómetro diferencial de Mercurio.

La presión diferencial del gas en “cm de agua” debe ser ajustado para el tipo de carburador usado, y el poder calorífico del gas usado (fig. 28).

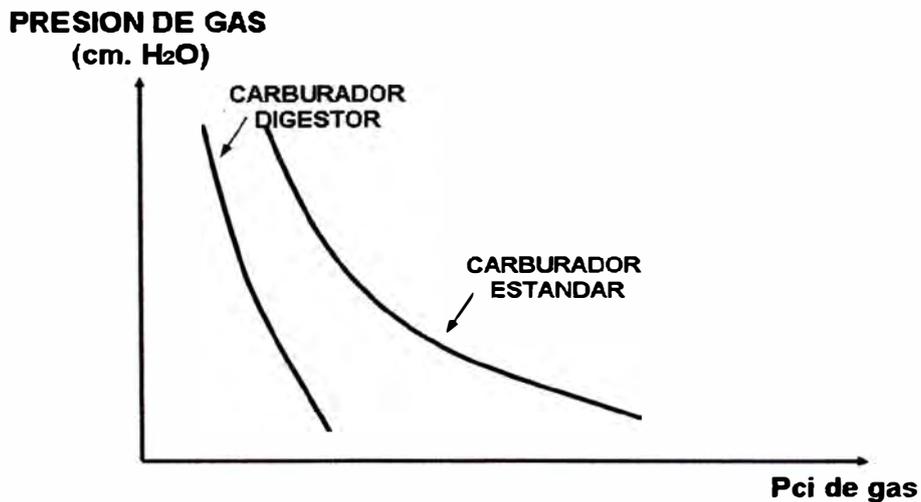


Fig. 28.- Presión de gas vs. Poder Calorífico.

La regulación de la presión diferencial del gas se realiza, con el motor encendido, en la válvula reguladora de presión (fig. 29). Ajustando el tornillo sobre el regulador principal de gas se ajusta el resorte al valor apropiado. Al variar la tensión del resorte en el diafragma se varía el diferencial de presión del gas.



Fig. 29.- Ajuste de la válvula reguladora de presión.

En motores en "V", se conecta un segundo carburador al grupo de indicadores, como se puede ver en la figura 30.

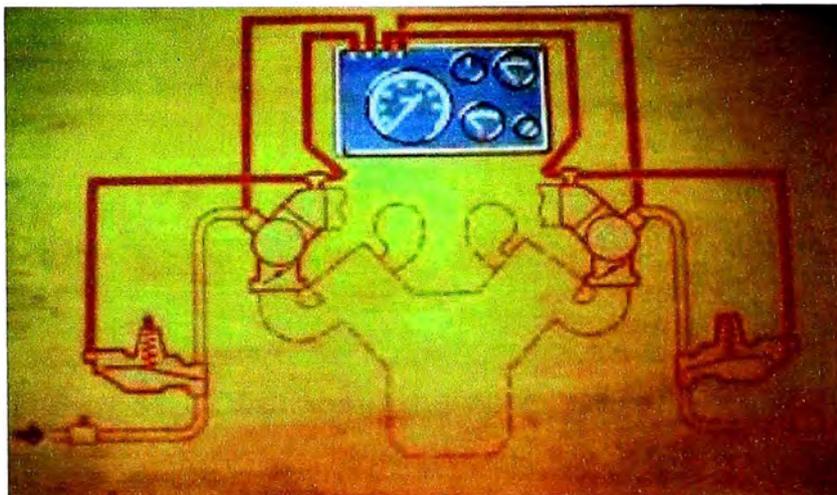


Fig. 30.- Esquema de instalación de manómetro en el motor en "V".

Una alternativa al manómetro en “U” son los indicadores de diferencial de agua. En los motores con carburadores dobles, como el de los viejos motores G300, se pueden usar dos indicadores para monitorear ambos resortes del regulador principal de presión ya que ambos deben ser ajustados a la presión correcta de gas.

También el resorte puede ser cambiado con un rango diferente de presiones.

En la figura 31 se puede ver un diafragma simple de un carburador IMPCO. El gas entra a través de este puerto de ingreso de gas y el máximo flujo es regulado, algunas veces, por un deflector en esta abertura. Esto es llamado “ajuste de potencia”, en muchas instalaciones es 2,5 puntos a la izquierda, es decir, hacia la zona de mezcla pobre.

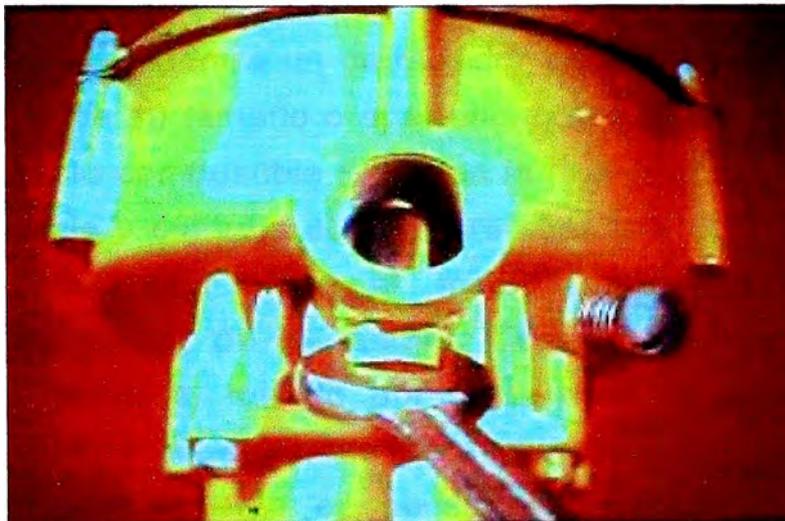


Fig. 31.- Diafragma del carburador IMPCO.

Viendo en la parte superior del carburador (fig. 32), podemos ver el ingreso de aire a la derecha y el ingreso de combustible a la izquierda. El combustible pasa a través del pequeño agujero central.

El aire llena la cámara exterior y es enviado al extremo en el interior de la cámara, mezclándose con el gas. En la parte posterior del interior de la cámara podemos ver la válvula de mariposa acelerador, el cual regula el flujo de la mezcla aire-gas al colector de admisión.

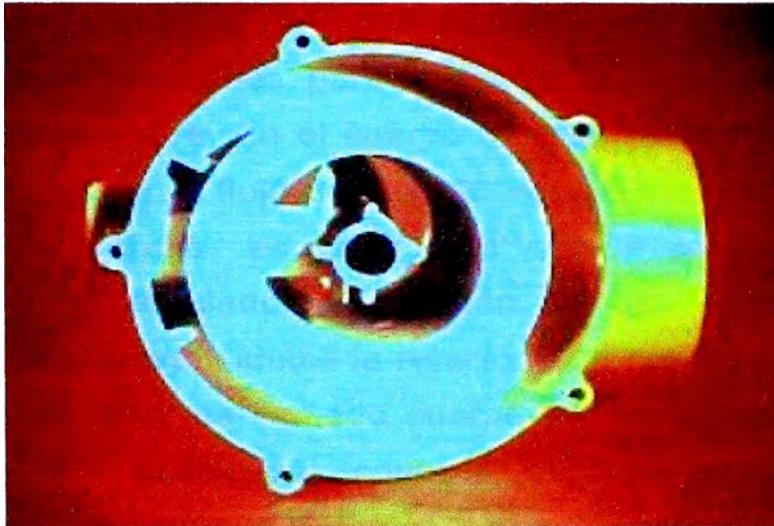
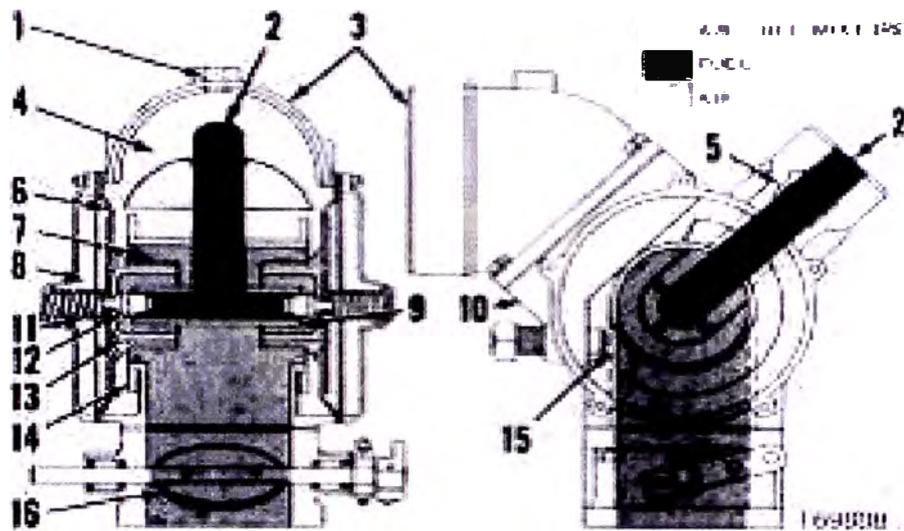


Fig. 32.- Vista superior del carburador IMPCO.

En la figura 33 se muestra un carburador de simple diafragma y sus partes. A pesar de su tamaño o apariencia, el carburador cumple dos funciones, mezcla combustible y aire en la proporción adecuada en el cuerpo de mezcla y controla el flujo aire-combustible al cilindro en el cuerpo del acelerador. Con el motor parado no puede fluir combustible al interior de la cámara. Cuando el motor arranca, el vacío en los cilindros, creado por la carrera de admisión de los pistones, crea una situación de baja presión en el interior de la cámara. Esta presión baja es sensada en la parte superior del diafragma, a través de los agujeros sensores. Esto permite a la presión en la parte superior del diafragma equilibrarse con la presión baja en el interior de la cámara. La mayor presión de ingreso actuando en la salida del diafragma, ayuda a la fuerza del resorte y mueve el diafragma hacia arriba. Esto también mueve la válvula de

combustible hacia arriba y permite mayor flujo de aire y combustible hacia la cámara. Un pequeño volumen de aire es también introducido a la cámara a través de la abertura de ajuste de vacío. Cuando el motor está operando a una carga y velocidad constante, el diafragma permanece en una posición. Este se mueve para arriba o abajo cuando el requerimiento de combustible del motor varía. Las superficies están calibradas para mantener una relación constante entre combustible y aire. En el cuerpo de mezclado, el diafragma se mueve en proporción al flujo de aire. El volumen de gas que fluye a través de esta válvula, es controlado por la presión diferencial establecida en el regulador de presión de gas. Cambiando esta diferencia de presiones, cambia la relación aire-combustible. La parte inferior del carburador es llamado cuerpo del acelerador. La válvula de mariposa del acelerador controla el flujo de mezcla aire-combustible del carburador al motor. La posición del acelerador es controlado por el gobernador a través de varillaje. La geometría del varillaje del acelerador y del gobernador es muy importante para una buena regulación de velocidad. El ingreso de combustible no se incrementa linealmente con el movimiento del acelerador como la posición de la cremallera versus ingreso de combustible en un motor Diesel.



Leyenda:

- 1) Ingreso de línea de balance.
- 2) Ingreso gas combustible.
- 3) Entrada de aire.
- 4) Salida de la cámara.
- 5) Tornillo de ajuste de potencia.
- 6) Diafragma.
- 7) Entrada a la cámara.
- 8) Cámara.
- 9) Tubería de salida del gas combustible.
- 10) Cuerpo principal.
- 11) Resorte.
- 12) Válvula de combustible.
- 13) Agujeros de sensado.
- 14) Anillo.
- 15) Tornillo de regulación del mínimo.
- 16) Válvula de mariposa.

Fig. 33.- Partes del carburador IMPCO.

Normalmente, los ajustes iniciales del carburador no tienen que ser variados, sin embargo, hay dos ajustes que pueden hacerse. Primero, es el ajuste del tornillo de carga. Como esto afecta la relación aire-combustible, precisa un procedimiento de servicio y equipos adecuados. El segundo ajuste es el "drenaje de aire en vacío". Este ajuste se hace en el carburador para controlar el nivel de monóxido de carbono a velocidad en vacío y es un requerimiento en motores y equipos móviles. Difícilmente, los motores Caterpillar requieren hacer nuevamente este ajuste.

El ajuste del drenaje de aire en vacío es normalmente ajustado en cuatro (04) vueltas hacia la izquierda (hacia afuera), como se puede ver en las figura 34 y 35.



Fig. 34.- Ajuste del carburador.

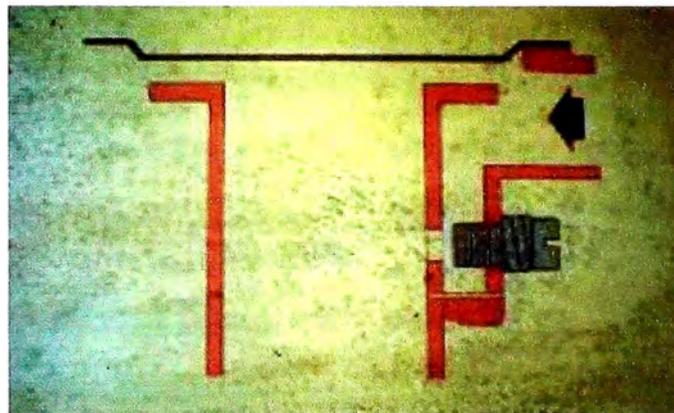


Fig. 35.- Esquema de ajuste del carburador.

Esto permite que cierta cantidad de aire no pase por el diafragma. Este tornillo no llevan los carburadores con tres diafragmas.

Otro ajuste que se necesita hacer al momento del ajuste de la válvula de mariposa del acelerador es la posición mínima del acelerador (el punto en que la válvula de mariposa del acelerador está casi cerrado), tal como se muestra en la figura 36. El propósito de este tornillo de ajuste es prevenir daños en el interior del carburador

debido al contacto entre la mariposa y el interior. Este no es un ajuste de la velocidad baja en vacío (ralentí) en circunstancias normales. La velocidad baja en vacío es normalmente controlada por el gobernador. Evita que la válvula se trabe en la garganta del carburador.

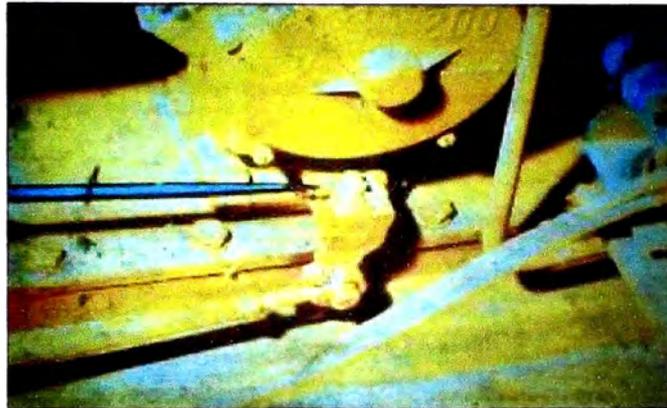


Fig. 36.- Ajuste del varillaje.

Los motores más grandes pueden usar carburadores IMPCO de doble o triple diafragma; éstos funcionan del mismo modo que el modelo de diafragma simple. Aire y gas son mezclados en el carburador y la válvula de mariposa del acelerador controla el flujo de la mezcla al motor.

Sin embargo, se necesita una presión diferencial constante de gas en el carburador y se usa el método de "sensar" los requerimientos del carburador. Nótese en la figura 37, el pequeño tapón de bronce debajo del ducto de aire. Este tapón normalmente es removido y se conecta una línea de balance.



Fig. 37.- Vista en corte del carburador.

La velocidad del flujo de aire que está ingresando al carburador, es sentido por el tubo pitot ubicado hacia arriba del extremo del ducto.

Los motores de la serie 3500 usan carburadores de la serie IMPCO 600. Los de ocho y doce cilindros usan modelos de simple diafragma, mientras el de 16 cilindros usa dos diafragmas IMPCO 600.

Cuando se remueve la tapa, el diafragma y la válvula pueden ser removidos. A pesar que la configuración de partes es algo diferente, el principio de operación es el mismo.

La válvula de potencia tiene un ajuste micrométrico, girando muchas vueltas el carrete de la válvula se puede ir desde mezcla "rica" a mezcla "pobre". Esto hace mucho más fácil el ajuste de la válvula mariposa usado en los modelos IMPCO 200. En la figura 38 se observa el ajuste del tornillo de mezcla del carburador.

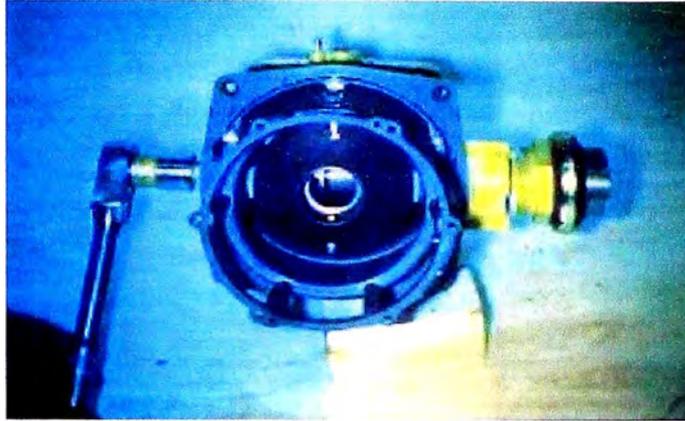


Fig. 38.- Ajuste del tornillo de mezcla del carburador.

La salida del gobernador es lineal de tal modo que el varillaje es diseñado para reducir el desplazamiento relativo del acelerador respecto al desplazamiento del gobernador a baja carga y se incrementa a altas cargas. El ajuste del varillaje del gobernador es extremadamente crítico en aplicaciones donde el control de velocidad es importante. Esto es necesario donde hay baja carga o no hay estabilidad de carga..

Las palancas del gobernador y del eje del acelerador son ajustados a ángulos específicos con el motor parado. La longitud de la varilla entre el gobernador y el acelerador es entonces ajustado a la correcta longitud para conectar el gobernador al acelerador. En la figura 39 se puede ver un esquema de instalación del carburador y su varillaje, así como los puntos de ajuste.

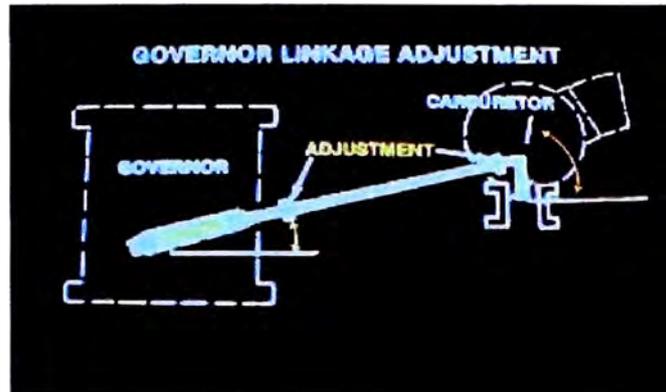


Fig. 39.- Ajustes del varillaje del gobernador.

Algunos combustibles gaseosos con bajo poder calorífico, como el biogás, requieren bajas relaciones aire-combustible para una apropiada combustión. Estas relaciones aire-combustible están más allá de la capacidad del carburador estándar y debe usarse un carburador especial.

En motores en "V", la carga debe estar distribuida sobre ambas bancadas de cilindros. Cuando las bancadas están balanceadas, la diferencia entre la presión del colector de admisión debe ser menor que 127 mm (5") de agua en condiciones normales de carga. El ajuste llamado "balanceo de bancadas" tiene que ser hecho en el varillaje del acelerador, sin carga, instalando un manómetro diferencial entre ambas bancadas (ver figura 40) y regulando los varillajes, hasta que el diferencial de presiones entre ambas bancadas esté dentro del rango indicado líneas arriba.

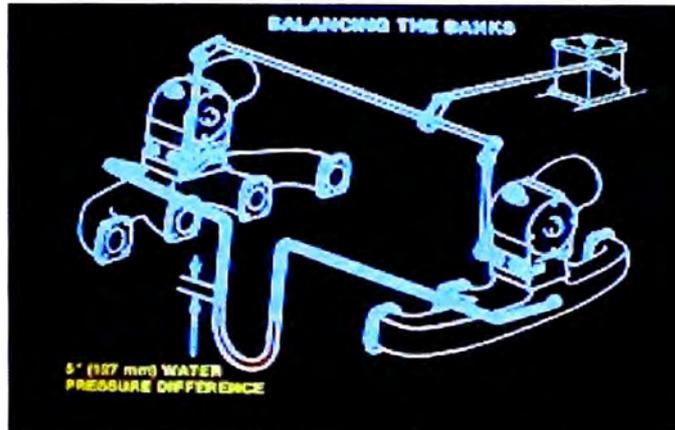


Fig. 40.- Balanceo de bancadas.

4.2.- SISTEMA DE ADMISION Y ESCAPE:

Los motores a gas están equipados en forma estándar, con colectores de escape refrigerados por agua. Esto reduce el calor irradiado del múltiple y alarga la vida del sistema de escape.

Los motores a gas Caterpillar turboalimentados, están equipados con un control de la presión de aire de admisión, que limita el aire soplado por el turbo hacia el colector de admisión. Este sistema está diseñado para controlar la turboalimentación. Caterpillar usa un regulador de presión diferencial o “válvula de desperdicio” (Wastegate), en todos sus motores a gas turboalimentados (figura 41).



Fig. 41.- Válvula de desperdicio.

El Wastegate está montado en el lado de la turbina del turboalimentador y controla la cantidad de gases de escape que van a los álabes de la turbina. A la presión de diseño del aire de ingreso, la válvula de desperdicio comienza a abrirse, permitiendo que algo de gases de escape se deriven directamente al tubo de escape sin pasar por la turbina, limitando la presión de aire en el colector de admisión. En los motores G3500 la válvula de desperdicio está montado en el codo de escape.

Como podemos observar en la figura 42, se observa cómo funciona el sistema de gases de escape, para controlar la cantidad de aire de ingreso a la admisión.

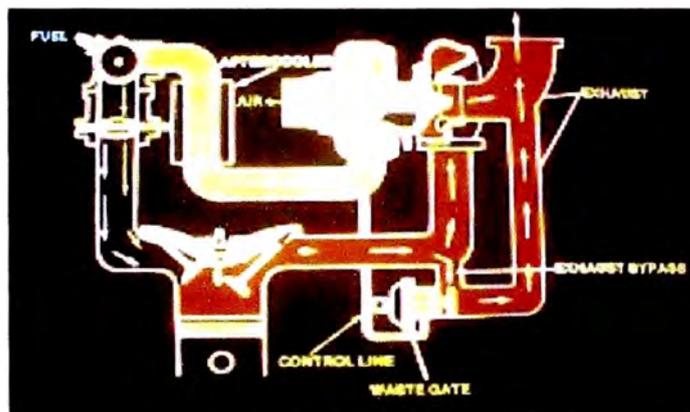


Fig. 42.- Sistema de gases de escape.

Varios sistemas han sido usados para operar la válvula de desperdicio. El más simple, es llamado “regulador de presión diferencial”. El siguiente esquema simplificado de la figura 43 muestra como opera.

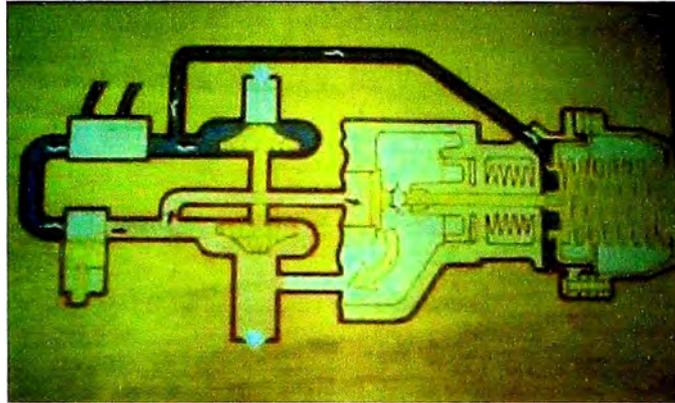


Fig. 43.- Diagrama de funcionamiento de la válvula wastegate.

En el centro de la figura 43 podemos ver los dos rotores del turboalimentador. En la parte inferior izquierda vemos el cilindro de donde fluyen los gases de escape, que hacen girar los álabes de la turbina. Al lado de la turbina está el colector de escape y arriba está la línea de derivación que va a la válvula de desperdicio. Cuando la válvula está abierta, los gases pasan a través de él y van directamente al tubo de escape, evadiendo el pase por la turbina, entonces la velocidad disminuye o permanece casi constante.

El movimiento de la válvula es controlado por la presión de aire en el colector de admisión. En la parte superior central, el aire entra al compresor y es comprimido, luego va al post-enfriador (rectángulo al lado superior izquierdo). El post-enfriador enfría el aire y lo hace más denso, de tal manera que hay más aire disponible para el cilindro en la parte inferior izquierda.

Entre el compresor y el post-enfriador se ve una línea que sube y va a la derecha y luego baja al regulador, donde la alta presión actúa contra el diafragma del regulador diferencial. La presión atmosférica es sensada a través del respiradero en el otro lado del diafragma.

Cuando es alcanzada una presión determinada en el colector de admisión, la fuerza del resorte (y la presión atmosférica) debajo del diafragma vence la presión del aire y el diafragma y la válvula se mueven hacia la derecha.

Para aumentar la presión del resorte, esta válvula lleva dos espaciadores, las cuales deben estar instaladas para operación del motor hasta 460 m.s.n.m. Cuando el motor deba trabajar por encima de los 460 m.s.n.m., se debe realizar ajustes a esta válvula. Los valores de ajuste se muestran en la tabla 10.

Tabla 10.- Ajustes por altura de operación.

Altura (m.s.n.m.)	Ajustes
0 - 460	No se requiere ajustes
460 - 1200	Retirar una lina
1.200 – 2.000	Retirar dos lina
1.800 - más	Se debe reducir la potencia 1% por cada 100 mts.

En la figura 44 se muestran dos válvulas, la primera de la izquierda es la “válvula de derivación reguladora de presión diferencial del escape”. Su respiradero se ve en la parte inferior izquierda, éste es entornillado en la cabeza del regulador, exponiendo un lado del diafragma a la presión atmosférica. La válvula de la derecha es llamada “válvula de control de la relación de presión”. Hay dos espaciadores de ¼” que entran entre la tapa y el cuerpo, estos espaciadores proveen el ajuste por altitud.

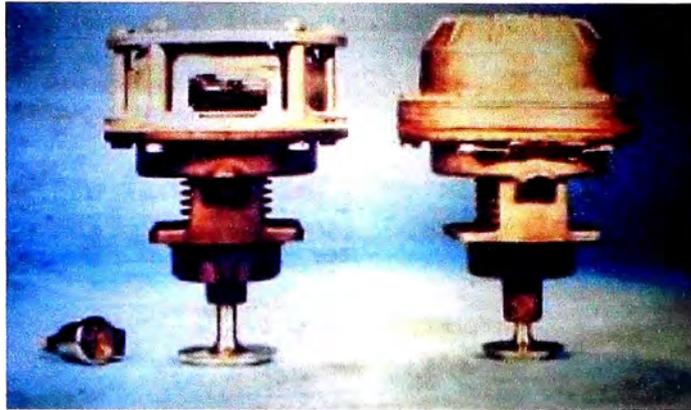


Fig. 44.- Válvulas de derivación y reguladora de presión.

Veamos las partes internas de una de estas válvulas. Hay que tener cuidado cuando se desarme en el campo. Cuando se desarme, los componentes deben ser revisados por desgastes o daños y reemplazarlos de ser necesario. En la figura 45 se ve el despiece de la válvula de derivación, en la que se observa el diafragma, el resorte y los dos espaciadores.



Fig. 45.- Despiece de la válvula de derivación.

Nunca se desarma una válvula de éstas en el mismo motor. Se debe tener cuidado, ya que los resortes están precargados con cerca de 51,2 kg de compresión en motores a gas y con mucha más presión en motores Diesel con Wastegate. Después que se retira el anillo de seguridad, los tornillos pueden ser aflojados con el regulador

sostenido en una prensa (tornillo de banco). Para dar servicio al regulador, no es necesario el tornillo de banco, se pueden usar tres pernos de ¼" NC con rosca corrida de 5 pulgadas de longitud, grado 8, para mantener la tensión del resorte para el desarmado o para comprimir los resortes para el armado.

Este regulador es sensible a la altitud. La fuerza del resorte no requiere ajuste, a menos que la presión de apertura sea incorrecta.

Como se mencionó anteriormente, menores temperaturas de ingreso permiten incrementar la carga en los motores, antes que ocurra la detonación. Por esta razón, todos los motores turboalimentados a gas tienen circuito separado de refrigeración con post-enfriador.

Los post-enfriadores son diseñados para mantener 43 °C (110 °F) en el colector de admisión, con 32 °C (90 °F) de agua en motores turboalimentados con relación de compresión alta y 65 °C (15 °F) de aire con 54 °C (130 °F) de agua en motores turboalimentados con baja relación de compresión. El post-enfriamiento con agua de las chaquetas no proporciona las bajas temperaturas de admisión requeridas.

En la figura 46 se ve el lado derecho de un motor G3516 mostrando el turboalimentador doble con sus salidas comunes al post-enfriador y el carburador montado al centro. El Wastegate montado al centro hacia delante (no siempre está ubicado en esta posición).



Fig. 46.- Vista de un G3516 lado derecho.

4.3.- SISTEMA DE ENCENDIDO:

Para el sistema de encendido, hay dos tipos, de bajo voltaje y de alto voltaje; Caterpillar ha escogido el sistema de encendido de bajo voltaje, porque con alto voltaje, existe la posibilidad de cortocircuito por radiación, causando tierra por la corriente que se incrementa grandemente cuando existen muchos alambres, lo cual resultaría en corriente cruzada de un lado a otro, causando inestabilidad y pérdida de potencia.

4.3.1.- COMPONENTES DEL SISTEMA DE BAJA TENSIÓN:

Transformador de encendido (bobina):

Este no es más que un transformador de bajo voltaje de entrada (cerca de 400 V) para una salida de alto voltaje para las bujías (cerca de 30.000 V).

Los transformadores de encendido pueden ser verificados midiendo la resistencia primaria (paso 1) con un multímetro, luego la resistencia secundaria (paso 2). Debe asegurarse que los terminales no estén sulfatados. Cuando un transformador es verificado, se debe poner la línea indicada por la flecha en el terminal negativo, tal como se muestra en la figura 47.

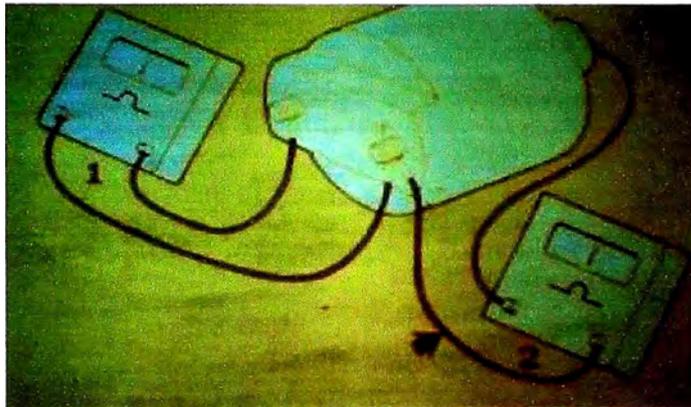


Fig. 47.- Prueba del transformador.

Magneto:

El magneto sirve para generar y distribuir el voltaje en el tiempo correcto hacia los transformadores para el encendido de las bujías en cada cilindro.

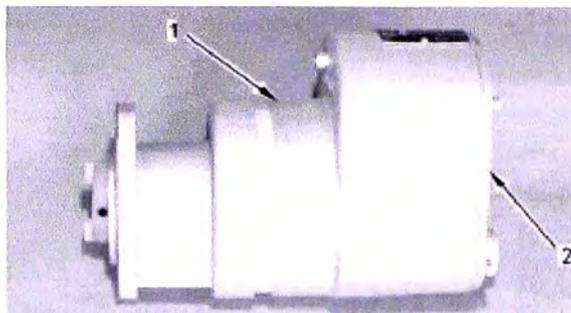
Hasta hace poco, por razones de costo, se usaba el "Fairbank Morse breaker point" tipo magneto en los motores G3304, G3306 y G342 con Altronic III como opción preferida. Altronic es ahora estándar en todos los motores.

Antes, fue estándar en los motores G399 el arreglo con doble magneto. Cada magneto controla una bancada de cilindros. La bancada izquierda está sincronizada con el cilindro número 2 en

el punto muerto superior, mientras que la bancada derecha está sincronizada con el cilindro número 1 en el punto muerto superior. El motor G399 ahora tiene un magneto Altronic III para 16 cilindros.

Los magnetos Fairbanks SCS han sido opcionales en la línea entera de productos, hasta la introducción de los sistemas con sincronización sensible de la detonación (SSD). Con el SSD, sólo se ofrece con el Altronic III de sincronización variable.

En la figura 48 se muestra el magneto estándar Altronic III para mezcla pobre. Nótese las dos conexiones comunes. Uno es para las conexiones a las bujías y el otro conecta al aparato de sincronización variable, llamado "puerto de interfase Altronic". Cuando está instalado correctamente, el sistema de encendido Altronic provee una eficiente, fácil y confiable opción para el servicio de los usuarios del motor a gas. El punto más importante que debemos considerar en el sistema de encendido, es que cualquiera sea su aplicación, el requerimiento del sistema siempre es el mismo, generar el voltaje necesario, distribuir el voltaje en el tiempo correcto y disparar el voltaje para la chispa de la bujía.



1) Alternador. 2) Sección electrónico de encendido

Fig. 48.- Magneto Altronic.

La figura 49 nos ayudará a identificar mejor los componentes en un Magneto Altronic. La espiga de accionamiento (3) es acoplado al eje del alternador y es movido por el motor. Girando el rotor del alternador causa rotación de los engranajes reductores de velocidad (5) y el distribuidor (9). Cuando el rotor gira, la energía del alternador carga al capacitor de almacenamiento de energía (8) en el circuito electrónico de encendido. En adición al capacitor, el circuito electrónico de encendido contiene una bobina receptora separada y un conmutador rectificador controlado de silicona (RCS) de estado sólido para cada cilindro. Cuando el distribuidor pasa sobre la bobina receptora, un pulso de cada bobina abre su respectivo conmutador SCR en secuencia. Los conmutadores individuales liberan la energía almacenada en el capacitor de almacenamiento de energía. La energía es entonces enviada a través del conector de salida (11), y el mazo de cables a los transformadores de encendido. Los transformadores elevan el voltaje a un nivel lo suficiente alto para la chispa de la bujía.

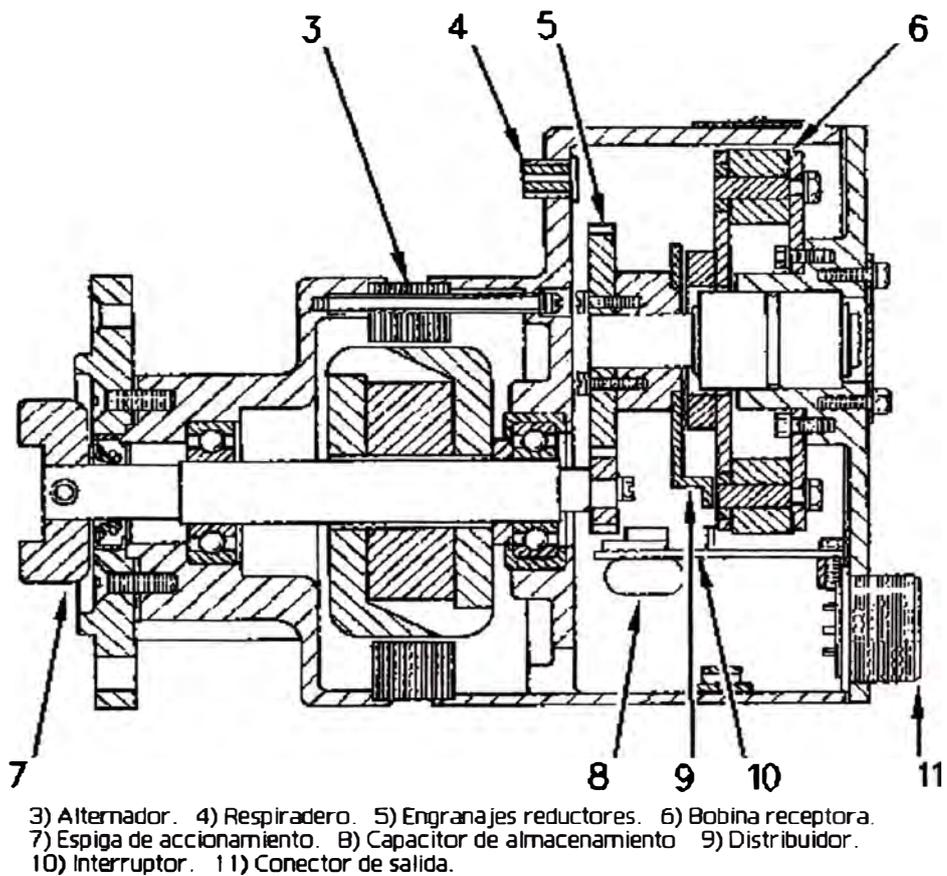


Fig. 49.- Partes del magneto Altronic.

Retirando los cuatro pernos de la tapa posterior se puede extraer los componentes del circuito de encendido del magneto para su inspección. Desconectando el enchufe entre el alternador y el puerto del circuito electrónico, se puede remover la tapa posterior y los componentes del circuito de encendido, como se muestra en la figura 50.



Fig. 50.- Desarmado del magneto.

En la figura 51, se muestra la tapa posterior y los componentes del circuito de encendido luego de separarlo de la carcasa del magneto. Nótese que ambas mitades del enchufe entre el alternador y el puerto del circuito están visibles. Esta vista también ayuda a ilustrar que los componentes internos de este magneto son fácilmente accesibles. El enchufe del alternador puede fácilmente ser utilizado para pruebas.

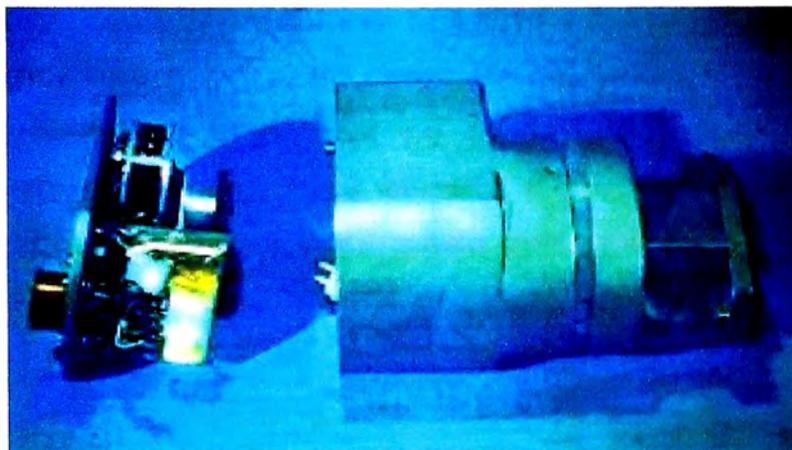


Fig. 51.- Circuito de encendido desmontado.

Removiendo el pequeño engranaje reductor del eje del rotor y retirando los tres pernos del interior de la carcasa, permite

separar el alternador de la carcasa como se muestra en la figura 52. Parcialmente visible en esta vista queda la única característica de este alternador (el rodaje posterior del alternador está encajado en un alojamiento de goma). La tapa de goma ayuda a amortiguar la vibración durante la operación y ayuda a sellar el compartimiento del circuito electrónico de encendido del compartimiento del alternador.



Fig. 52.- Desmontaje del alternador del magneto.

Con la carcasa del magneto separado del alternador, el estator queda libre para extraerlo como se muestra en la figura 52. Sin embargo, retirar el estator no es tan fácil, ya que el rodaje frontal del alternador está alojado a presión en la carcasa del alternador. Durante el desarmado y rearmado del alternador, es importante recordar no dañar el aislamiento de teflón en el estator.

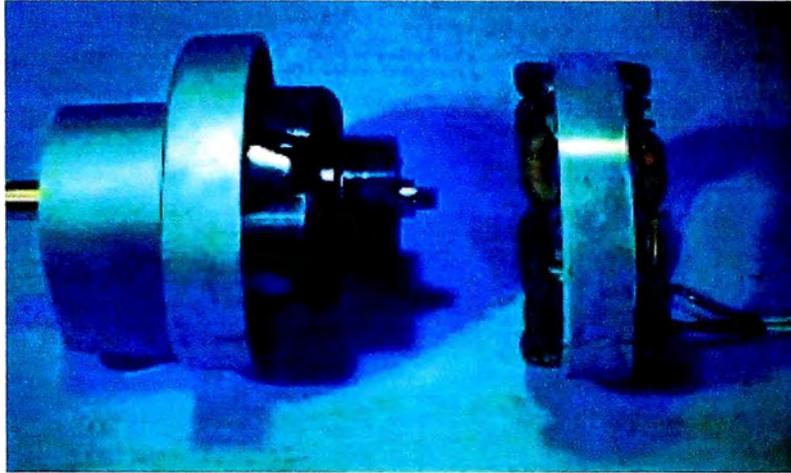


Fig. 52.- Alternador del magneto.

El distribuidor pasa sobre las bobinas receptoras cuando gira el engranaje grande del reductor de velocidad. Para una apropiada operación del magneto, el distribuidor debe girar libremente, y debe mantenerse una pequeña luz entre el brazo del distribuidor y la bobina receptora. La luz es establecida durante el armado y es de 0,212 A 0,46 mm.

En la figura 53, se muestra una representación esquemática de un sistema Altronic de cilindro simple. Cada componente en el circuito de carga (a la izquierda de las líneas verticales punteadas) está presente en las cantidades mostradas en el sistema completo. Cada componente en el circuito de encendido (a la derecha de las líneas verticales punteadas) está presente en una cantidad igual al número de cilindros en el motor.

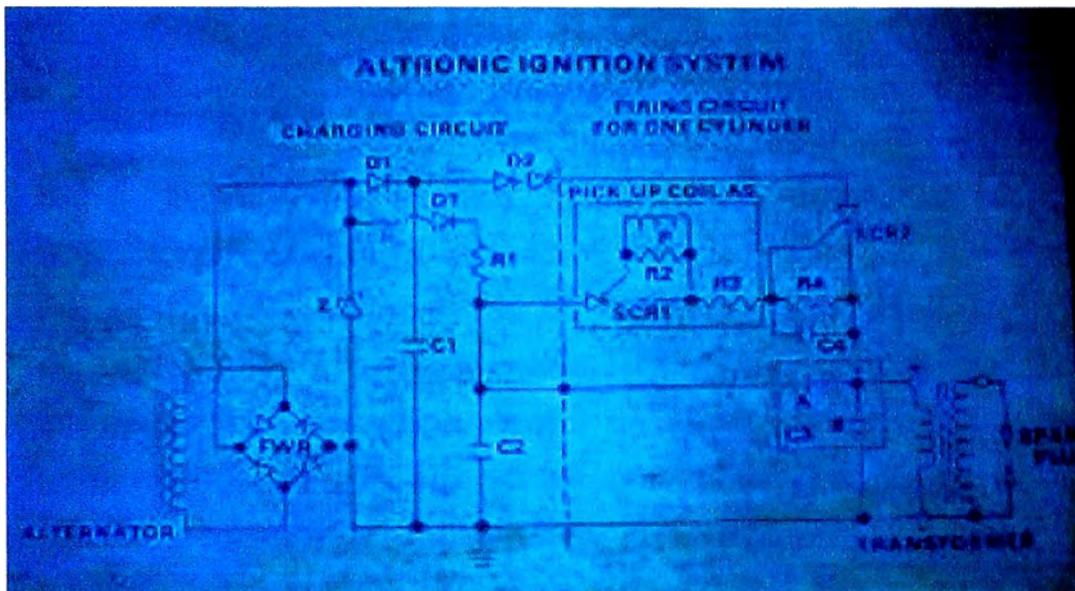


Fig. 53.- Esquema del magneto Altronic.

Por ejemplo, un sistema de encendido Altronic en un motor G379 tiene un alternador (mostrado a la izquierda de las líneas punteadas) y 8 bobinas traductoras (mostrado a la derecha de las líneas punteadas). Para identificación, los componentes en varios sistemas son:

Z	Diodo Zener.
C ₁	Capacitor de almacenaje de energía.
C ₂	Capacitor de circuito de disparo.
C ₃	Capacitor dual (A & B).
C ₄	Capacitor SCR de compuerta.
D ₁	Diodo.
D ₂	Diodo dual.
R ₁	Resistencia del circuito de disparo.
R ₂	Resistencia de bobina traductora.
R ₃	Resistencia SCR de compuerta.
R ₄	Resistencia SCR de compuerta.

SCR₁ : Bobina receptora SCR.
SCR₂ : Energía SCR.
P : Bobina receptora.

SCR₁, P, R₂ y R₃ forman un ensamble individual de bobina traductora. Durante la operación, el voltaje de corriente alterna del alternador es convertido en voltaje de corriente continua por el rectificador de onda total (FWR) y almacenado en el capacitor de almacenamiento de energía (C₁). El nivel de voltaje de corriente alterna es controlado por el Diodo Zener (Z). La sección "A" del capacitor dual (C₃ – A) es cargado a través del circuito de resistencias de disparo (R₁). Esto proporcionará la energía al disparador SCR (SCR₂) cuando el distribuidor pase sobre las bobinas receptoras (P). En ese momento, la energía de las bobinas traductoras abren la bobina receptora SCR (SCR₁). El capacitor C₃ – A puede entonces descargar a través de la resistencia SCR de compuerta (R₃) en la compuerta del SCR₂. La energía SCR entonces permite que el capacitor de almacenamiento de energía (C₁) descargue en el primario del transformador de encendido. En este punto, el transformador de encendido aumenta el voltaje para la chispa de las bujías. Los capacitores C₂, C₃ – B y C₄ sirven como filtros para ayudar a prevenir la corriente cruzada entre cilindros.

Cuando ocurre un problema en el sistema de encendido, la sección de fallas del manual de servicio del motor, provee procedimientos detallados para ayudar a identificar la causa del problema. Los dos tipos de problemas son: "falta de combustión en uno o más cilindros" y "el motor no funciona o no hay chispa". El manual de fallas indica utilizar un indicador de

encendido y un ohmímetro para realizar varias pruebas que son breves y fáciles de realizar.

Bujías:

Las bujías (fig. 54), son las encargadas de dar la chispa para el encendido. Estas bujías han sido especialmente desarrolladas para sobrepasar las necesidades de encendido de un motor dado. Es importante utilizar la bujía adecuada y darle el mantenimiento correspondiente a las bujías, ya que de lo contrario afectarán el consumo de combustible, las emisiones de gases tóxicos y la estabilidad de trabajo del motor.



Fig. 54.- Bujías.

La calidad, y el precio de las bujías han ido evolucionando grandemente desde su introducción hace algunos años:

Bujía de electrodo simple – Automotriz \$ 2,00.

Bujía de doble electrodo – Motor estándar G379 750 horas de vida útil \$7,50.

Bujía de aislante corto, de cuatro (4) electrodos para 3500 Lean Burn 750 horas de vida útil \$ 15,00.

Bujía de aislante largo, de cuatro (4) electrodos para 3500 Lean Burn 750 horas de vida útil \$ 15,00.

Bujía de aislante largo, tipo J GAP, para 3500 Lean Burn 6.000 horas de vida útil \$ 100,00.

Se usa un indicador de chispa para las bujías (fig. 55) para verificar el voltaje y la chispa de la bujía en los motores con los cables de alta tensión expuestos. El destello debe ser firme y el brillo debe ser igual para todas las bujías. Este indicador de chispa muestra sólo la condición de la bujía, no verifica los transformadores o magnetos. En adición, con la familia de motores de “mezcla pobre” con cableado interno, este instrumento no trabaja y para verificar la sincronización es necesario usar el instrumento usado para detectar el ángulo de avance del encendido en los motores Diesel, con un adaptador a gas, el “digital diagnostic tool” o un indicador llamado “timing light” conectado al cableado de baja tensión para detectar actividad de la bujía.

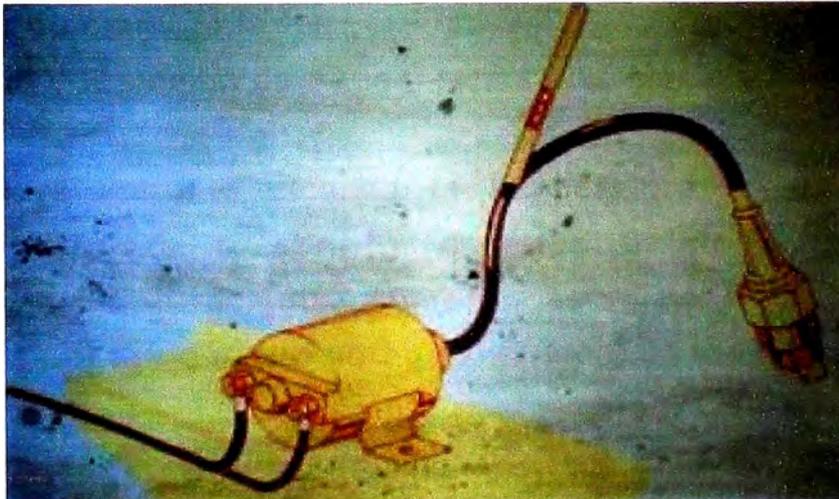


Fig. 55.- Indicador de chispa de la bujía.

4.4.- SISTEMA DE ENFRIAMIENTO:

El sistema de enfriamiento de los motores a gas de la serie 3512 consta de un circuito separado de refrigeración, en la que hay dos niveles de temperatura del refrigerante, uno de mayor temperatura que circula por las chaquetas de agua y otro de menor temperatura que enfría el post-enfriador.

Ambos circuitos son separados y cada uno de ellos lleva su propia bomba de agua.

En la figura 56, se observa que en el circuito principal el refrigerante es impulsado por la bomba de agua hacia el enfriador de aceite, luego ingresa al monoblock del motor, enfriando los componentes de abajo hacia arriba, es decir, que ingresa a la chaqueta de agua a la altura de las camisas y luego sube hacia las culatas. A la salida del motor el refrigerante va a la caja de termostatos, aunque algunos motores tienen turbos refrigerados por agua, es decir, que son turbos con camisa de agua. Si la temperatura del refrigerante es aún bajo, el agua retorna a la bomba de agua y repite su ciclo.

Cuando el refrigerante alcanza la temperatura de operación, el termostato empieza a abrir y deja pasar cierta cantidad de refrigerante hacia el radiador. Conforme se va cargando al motor, la temperatura del refrigerante va aumentando y el termostato continua abriéndose.

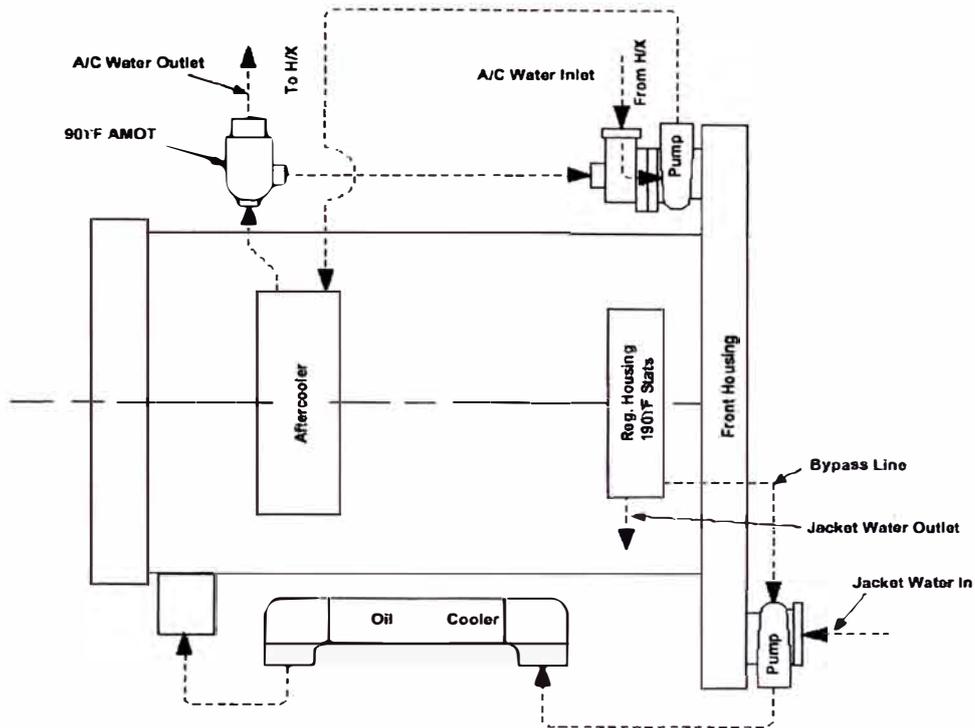


Fig. 56.- Esquema del sistema de refrigeración del motor a gas 3500.

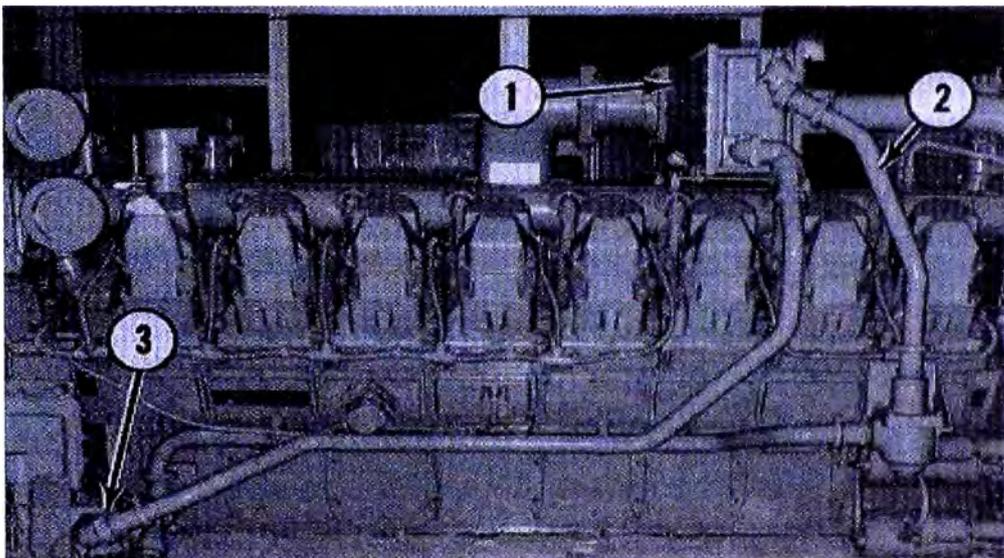
El segundo circuito de refrigeración es una variación respecto a los motores Diesel, ya que se usa para refrigerar el aire de admisión, luego que es turbocargado. Como se sabe, los motores a gas son más calientes que los motores Diesel, debido a las altas temperaturas de combustión.

Existen dos temperaturas de trabajo para este sistema:

- a) Para motores turboalimentados con alta relación de compresión, la temperatura máxima de aire es de 43 °C y la temperatura máxima del refrigerante en el sistema del post-enfriador de 32 y 54 °C.
- b) Para motores turboalimentados con baja relación de compresión, la temperatura máxima de aire es de 65 °C y la

temperatura máxima del refrigerante en el sistema del post-enfriador de 54 °C.

Como el agua del post-enfriador está más fría que el agua de las chaquetas del motor, se necesita una bomba adicional para circular el agua del circuito del post-enfriador. La bomba del post-enfriador en los motores de la serie 3500 está montado en el alojamiento para el mando de accesorios. Esta ubicación en la parte frontal izquierda es la misma que en los motores de cilindrada de 159 mm en "V". La bomba de la figura 57, es para agua tratada (anticongelante más inhibidor de corrosión). También hay disponible bomba de agua marina y cobre níquel para post-enfriador.



1) Post-enfriador. 2) Línea de retorno. 3) Bomba de agua circuito auxiliar.

Fig. 57.- Bomba de agua auxiliar del circuito separado.

El apropiado funcionamiento de los termostatos es vital para el mejor rendimiento del motor a gas ya que ellos controlan la temperatura del motor (fig. 58).



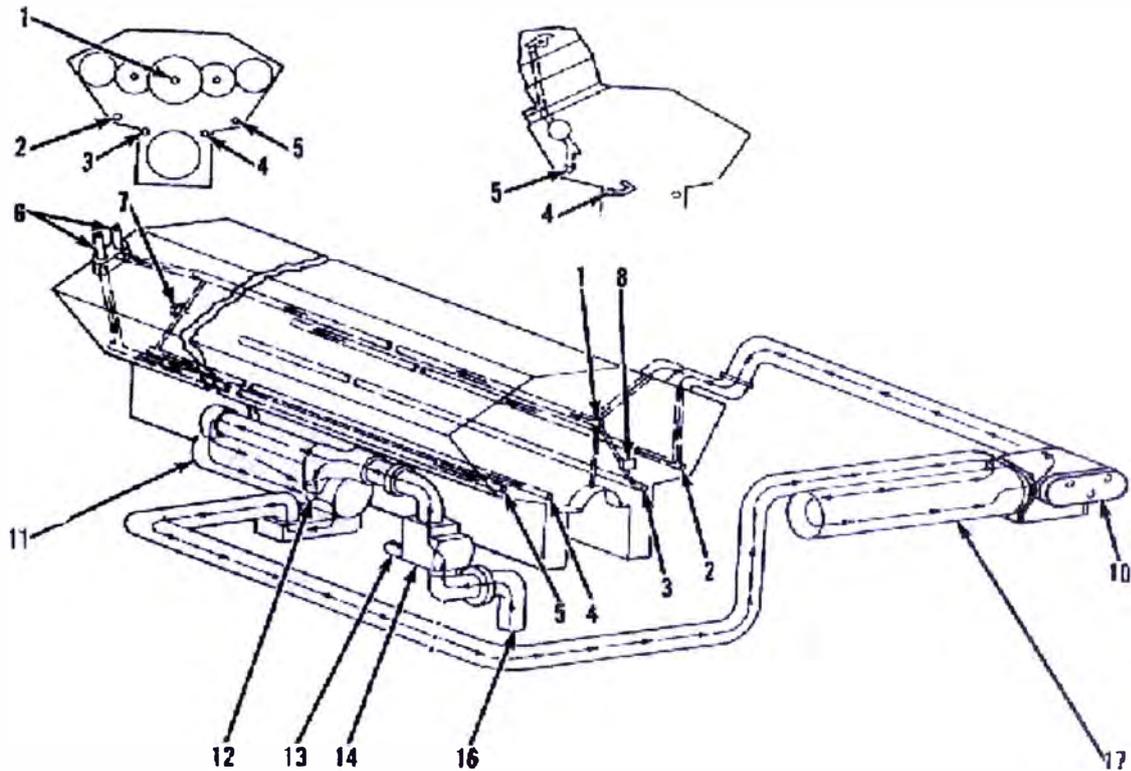
Fig. 58.- Cambio de Termostato.

La temperatura del refrigerante en un motor a gas debería estar entre 88 y 93°C (190 y 200°F)). Los termostatos que se quedan pegados en posición abierto causan que el motor trabaje sobre-enfriado. Esto provoca la formación de ácidos durante la combustión y permite que se condense agua en el aceite de lubricación.

Los termostatos que no abren apropiadamente causan que el motor trabaje sobrecalentado. Quitar los termostatos en verano, siempre causará recalentamiento del motor, ya que Caterpillar utiliza termostatos "bypass". El recalentamiento causa temprana degradación del aceite (se rompe la película de aceite) y eventualmente agarrotamiento de componentes. Recalentamiento en el circuito del aftercooler, causa pérdida de potencia, golpeteo y acorta la vida de las válvulas. Se debe reemplazar los termostatos que no trabajan apropiadamente.

4.5.- SISTEMA DE LUBRICACION:

El sistema de lubricación del motor a gas es el mismo que el usado para el motor Diesel, tal como se observa en la figura 59.



1) Galería principal. 2) Galería izquierda del árbol de levas. 3) Galería de los jets de lubricación. 4) Galería de los jets de lubricación. 5) Galería derecha del árbol de levas. 6) Líneas del turboalimentador. 7) Válvula de secuencia. 8) Válvula de secuencia. 10) Válvula de derivación de la caja de filtros. 11) Enfriador de aceite. 12) Válvula de derivación. 13) Válvula de alivio. 14) Bomba de aceite. 15) Campana de succión. 17) Caja de filtros.

Fig. 59.- Esquema del sistema de lubricación.

El aceite es succionado del cárter a través de la campana de succión (16), por la bomba (14), el aceite es impulsado a través del enfriador de aceite (11), hacia la caja de filtros (17). Parte del aceite enfriado y filtrado va a la galería izquierda del eje de levas (2) y el resto va a la galería principal (1).

La galería del eje de levas se conecta con las bocinas a través de perforaciones, el aceite baña las bocinas y luego sube a las culatas, levantadores y puentes de válvulas, retornando luego al cárter por gravedad.

En ambos extremos (delantero y posterior) del monoblock, existen dos válvulas (7 y 8), denominadas de secuencia, las cuales priorizan el pase de aceite hacia los turbos (6), antes de enviar el aceite hacia las galerías de los jets de lubricación. Esta válvula de secuencia deja pasar aceite a 140 kPa de presión. El aceite que sube a los turbos, retorna hacia la galería derecha del eje de levas, lubricando la bancada derecha.

La válvula de derivación del enfriador de aceite (12) envía el aceite directamente a la caja de filtros, cuando el enfriador se satura o el aceite está demasiado grueso (como en los arranques en frío), y el diferencial de presión en el enfriador llega a 180 ± 20 kPa.

La misma función cumple la válvula de derivación de la caja de filtros (10).

El aceite usado en los motores a gas tiene características diferentes al aceite usado para motor Diesel. Las características que debe cumplir el aceite para motores a gas se muestra en la tabla 11.

Tabla 11.- Características típicas del aceite para motores a gas natural.

Parámetro	Viscosidad SAE 30	Viscosidad SAE 40
Gravedad, API (ASTM D286)	28.4	28
Punto de inflamación, °C (ASTM D92)	238	248
Punto de fluidez, °C (ASTM D97)	-15	-15
Viscosidad:		
- cST @ 40 °C (ASTM D445)	89.8	130.5
- cST @ 100 °C (ASTM D445)	10.4	13.4
Indice de viscosidad (ASTM D445)	97	97
Cenizas sulfatadas % peso (ASTM D874)	0.45	0.45
TBN (ASTM D2896)	4.8	4.8

4.6.- SISTEMAS DE PROTECCION Y CONTROL:

El panel de instrumentos estándar (fig. 60), en los antiguos motores CAT, tenían sensores de parada automática por baja presión de aceite, alta temperatura de agua y parada de emergencia manual. Ambos sensores y el botón manual de emergencia activaban el acelerador o el interruptor de tierra del magneto. Cuando la temperatura de agua era demasiado alta o cuando la presión de aceite demasiado baja, la aguja en el indicador hacía contacto, saltaba el actuador y el motor se apagaba. Antes que el motor sea arrancado, el actuador y el indicador de presión tenían que ser repuestos manualmente. Sin embargo, este sistema no podía ser usado para aplicaciones de arranque y parada automática.



Fig. 60.- Panel de instrumentos.

Este interruptor de tierra del magneto o actuador, era activado cuando una señal de corte (por seguridad) enviaba a tierra el magneto. Cuando éste saltaba, el magneto hacía tierra hasta que sea repuesto manualmente. En la figura 61 se muestra un diagrama eléctrico del interruptor actuador. Cuando se hace contacto entre M_1 y S_1 , el contacto salta y ambos M_1 y M_2 están conectados a tierra (como está indicado por la flecha en la parte superior) uno o ambos magnetos hasta ser repuestos manualmente. El interruptor magnético tiene un botón rojo que salta, llamado actuador. La operación de cualquier control de seguridad (o botón de parada) causará que el actuador salte.

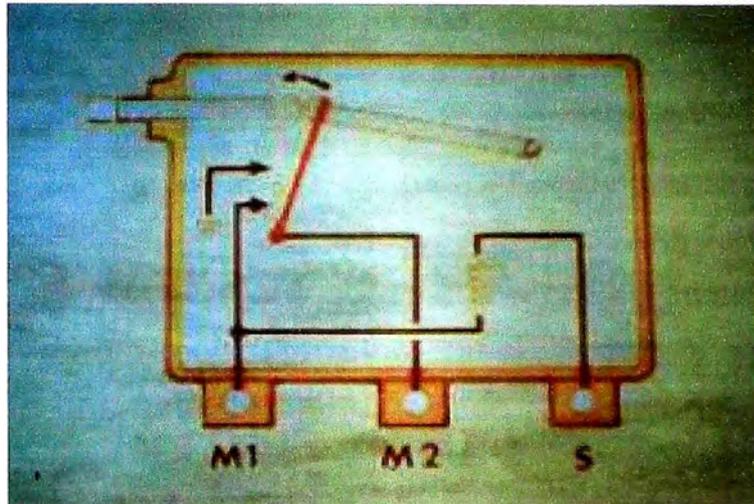


Fig. 61.- Diagrama del interruptor actuador.

Ahora veamos como debe ser apagado por protección un motor a gas. Imaginemos que el motor está trabajando bajo condiciones normales de carga. El interruptor actuador es activado bien por uno de los instrumentos o por el operador, presionando el botón de parada de emergencia en el panel de instrumentos. En este punto, el motor continuará girando debido a su inercia, pero las bujías no descargarán chispa para quemar la carga de aire-combustible. El motor continuará con sus cuatro ciclos. Sólo la mezcla aire-combustible sin quemar será expulsada al sistema de escape. El gas será suministrado mientras haya vacío en el múltiple de admisión, esto es hasta que el motor se pare completamente. Entonces el sistema de escape se llenará con gas. Si el motor es arrancado inmediatamente después, este gas se encenderá, posiblemente causando daño al sistema de escape.

Para evitar esto, se recomienda usar una válvula de corte de combustible, el cual automáticamente cortará el gas al motor cuando el motor es apagado en una emergencia.

Nota: la parada de emergencia normal debe ser hecha cortando el suministro de gas y no enviando a tierra al magneto.

CAT ofrece la válvula de corte de gas "Murphy", el cual es activado por el magneto, al hacer tierra a través de él. Esta válvula tiene que ser manualmente repuesta antes que el motor sea arrancado luego de una parada de emergencia. Para instalaciones con arranque y parada automática con una sala de máquinas, se recomienda una válvula de solenoide eléctrico.

En los antiguos motores a gas CAT de la serie 300, los componentes del sistema típico de encendido del motor a gas eran: un breaker (tipo magneto), un transformador de ignición, conductor de alta tensión y bujías.

Luego el cableado al terminal de tierra era: una válvula de corte de gas Murphy e indicadores (montados como control de seguridad).

Con este sistema antiguo, estaban disponibles una variedad de dispositivos de seguridad adicionales. Todos estos eran cableados en paralelo a cada uno de los otros, de tal manera que cualquier problema sentido actuaría en el magneto y/o válvula de gas.

En la figura 62 se muestra un circuito simple con las conexiones paralelas a tierra.

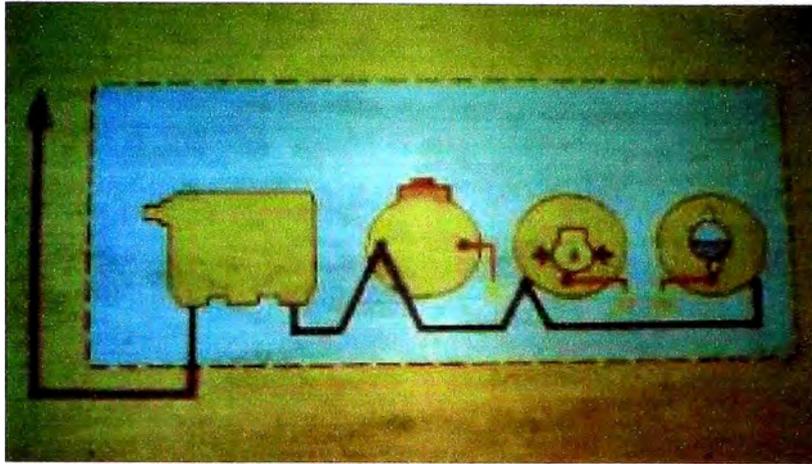


Fig. 62.- Circuito simple con conexiones a tierra.

En los motores modernos el sistema de monitoreo y protección es electrónico, para lo cual se requiere de una batería de alimentación de 24 V. El panel de control electrónico estándar se muestra en la figura 63 y ofrece las siguientes opciones:

Botón de parada de emergencia manual.

Sistema energizado para el arranque de la válvula de corte de gas.

Monitoreo de valores de generación, alarmas, parámetros de operación, alarmas y luces de parada.

Detonación.

Interruptor de arranque automático, arranque manual, enfriamiento para apagado y apagado.



Fig. 63.- Módulo de control electrónico.

Los valores estándar programados para alarmas y paradas se muestran en la tabla 12.

Tabla 12.- Valores del sistema de protección.

Parámetro	Unidad	Alarma	Parada
Baja Presión de aceite			
- Velocidad Ralentí	kPa	103	69
- Velocidad Nominal	kPa	241	207
Alta temperatura de refrigerante	°C	103	
Baja temperatura de refrigerante	°C	21	
Sobrevelocidad	%		118
Tiempo de sobrecalentamiento	seg.		360

Adicionalmente, se pueden programar más valores de protección, de acuerdo a las necesidades del cliente. En la tabla 13 se muestran los estados recomendados para los dispositivos de control y seguridad controlados por el panel de control electrónico.

Tabla 13.- Parámetros de los dispositivos de control y seguridad.

Parámetro	Acción
Baja Presión de aceite	S
Alta temperatura de aceite	S
Vibración excesiva	S
Sobrevelocidad	I
Alta temperatura de aire de admisión	S
Detonación	I
Sobrearranque	S
Alta temperatura de refrigerante	S
Alta Nivel de refrigerante	A
Bajo nivel de refrigerante	S
Pérdida de potencia	S
Potencia inversa	S
Sobrecorriente	S
Sobrecarga	S
Baja frecuencia	S
Sobre / bajo voltaje	S
Falla del cargador de batería	A
Falla de la batería	A

I ---> Apagado inmediato (cierre de la válvula de gas y fin de la ignición inmediatamente)

S --> Parada gradual (cierre de la válvula de gas inmediatamente y luego de 10 segundos fin de la ignición)

A ---> Sólo alarma.

CAPITULO V

DIFERENCIAS ENTRE UN MOTOR DIESEL Y UN MOTOR A GAS

El motor a gas se diferencia del motor Diesel en 3 áreas básicas:

- 1) Sistema de combustible.
- 2) Sistema de ignición (encendido).
- 3) Proceso de compresión.

La comparación entre la operación de un motor a gas y un Diesel muestra que la carrera de compresión para un diesel ingresa sólo aire, mientras que para un motor a gas ingresa una mezcla de combustible y aire. El Diesel inyecta combustible cerca al punto muerto superior en su carrera de compresión y utiliza el calor producido en la compresión para la ignición. Debido a que el calor de compresión es bajo, el motor a gas utiliza bujías para la ignición (fig. 64). Una manera rápida de identificar un motor a gas es buscar el carburador, el cual mezcla el gas y el aire y suministra la mezcla la admisión.

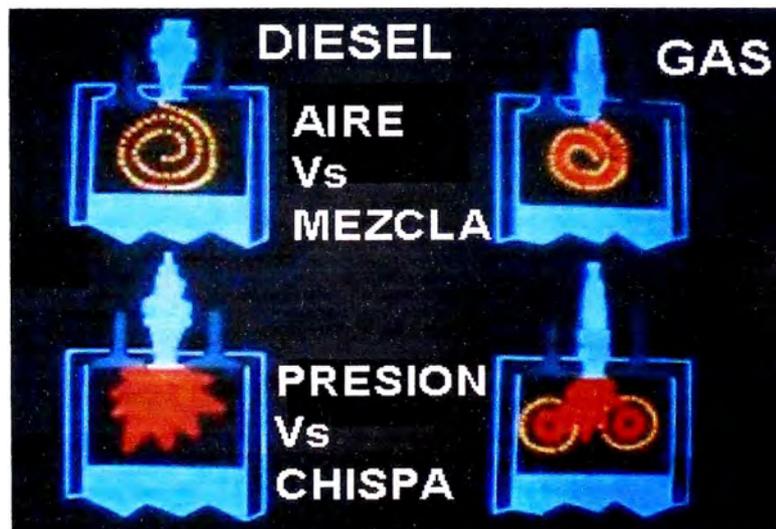


Fig. 64.- Combustión Diesel vs. gas.

El carburador no atomiza el combustible ya que éste ya está en estado gaseoso.

En la figura 65 se observa las 04 carreras del ciclo de trabajo del motor a gas. La mezcla de aire-combustible ingresa primero en la carrera de admisión (hacia abajo), luego es comprimido en la carrera de compresión (hacia arriba), igual que en el ciclo Diesel, luego es encendido por una chispa eléctrica proveniente de una bujía, posteriormente produce el trabajo en la carrera hacia abajo, para luego expulsar los gases de la combustión en la carrera de escape.

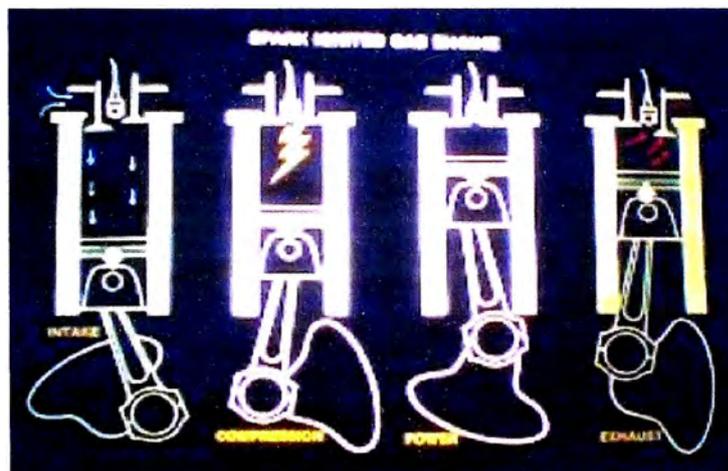


Fig. 65.- Ciclo de trabajo.

Además del carburador, los motores a gas tienen un sistema eléctrico de ignición, el cual consiste de un transformador y bujías por cada cilindro. Los transformadores requieren de 150 V en el primario y proveen de 30.000 V a las bujías.

Los motores a gas también tienen un magneto accionado por los piñones de sincronización, el cual genera la energía eléctrica para el sistema de ignición.

El sistema de ignición no necesita de batería, ya que el magneto no está conectado al sistema eléctrico del motor.

En la actualidad CAT ha introducido el sistema de ignición electrónico (EIS - electronic ignition system), con el que se ha eliminado el uso de magnetos y los motores son capaces de trabajar a 1.800 RPM.

Los motores Diesel están típicamente limitados por su capacidad para soportar cargas estructurales con presiones de hasta 10,335 Mpa (1.500 Psi)

Los motores a gas están limitados por su capacidad de soportar cargas térmicas (altas temperaturas de escape).

El motor a gas estequiométrico, con mezcla químicamente correcta para una combustión completa, funciona con más altas temperaturas de escape ya que trabaja con una relación aire-combustible constante a cualquier carga. El motor Diesel trabaja con exceso de aire con cualquier carga, sólo la cantidad de combustible quemado aumenta con la carga, éste aire en exceso, enfría la carga del motor Diesel. En la figura 66 se muestra el comportamiento de la temperatura de escape con la carga para los motores Diesel y a gas.

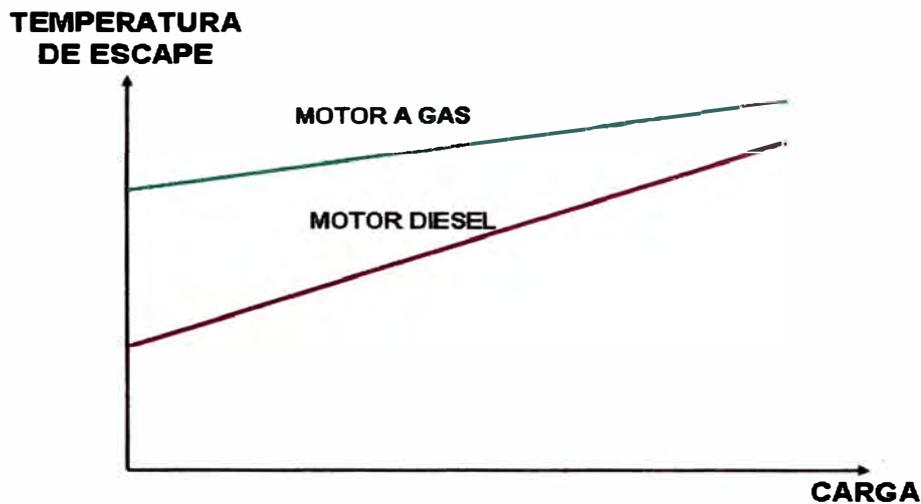


Fig. 66.- Temperatura de escape vs. Carga.

Los motores a gas son construidos con la mayoría de componentes básicos de un motor CAT Diesel, aun así operan a mucho menores relaciones de compresión y a presiones 40% o 50% menores que los Diesel. Las partes del área de combustión que son diferentes, se acomodan a las mayores temperaturas de combustión del motor a gas. Esto permite a los motores a gas ofrecer mayor durabilidad y mayor vida de servicio. El 80% de partes son intercambiables entre un motor a gas y un motor Diesel del mismo modelo.

La relación de compresión de un motor a gas es reducido, usando pistones más cortos. La cabeza del pistón toma una variedad de tamaños. Estos pueden ser planos o tener una hendidura (fig. 67).

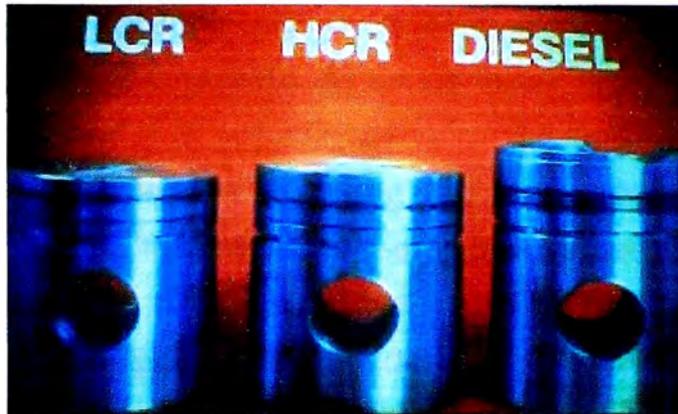


Fig. 67.- Diferencias de pistones.

En el caso de los motores G3400 y G3500 “mezcla pobre”, el pistón tiene la copa profunda en el centro que aumenta las características de una combustión con mezcla pobre. El pasaje detrás del anillo de compresión es un pasaje de aceite. El aceite enfría la cabeza del pistón y anillos, reduciendo los depósitos de carbón y evitando que se peguen los anillos (fig. 68).



Fig. 68.- Pistón de motores a gas G3400 y G3500.

Anteriormente ya se hablo del termino "estequiométrico"; una relación estequiométrica es definida como la correcta mezcla química para producir la combustión completa de un combustible.

Los motores CAT trabajan en una de las tres relaciones aire-combustible. El motor "estándar" es el motor a gas tradicional, es el más económico para fabricar y produce el mejor consumo de combustible para cualquier relación de compresión (con sus límites). Es un motor de baja tecnología, ambientalmente sucio, que está siendo legalmente puesto fuera de operación. Su relación aire-combustible esta normalmente ajustado para cerca de 1,5% de oxígeno en el escape. Su desventaja es que no permitirá bajas emisiones en muchas áreas.

El motor "mezcla rica" es el más cercano a un motor estequiométrico pero este motor utiliza un convertidor catalítico. Es también de baja tecnología, ambientalmente sucio, motor que cuando es combinado con alta tecnología en el escape puede producir una de las emisiones más limpias disponibles. Su relación de aire-combustible tiene generalmente 0% de oxígeno en el escape; pero debido al poco oxígeno no quema completamente el combustible. En realidad normalmente está graduado para producir igual cantidad de CO y NOx. La desventaja de este motor es el alto costo de operación debido al tratamiento de los gases de escape que necesita y generalmente su costo de mantenimiento es más alto debido a las altas temperaturas en el escape.

El tercer tipo de motor a gas es el llamado de "mezcla pobre". Este motor es generalmente de alta tecnología; ya que emplea alta tecnología para recuperar la eficiencia perdida cuando funciona un motor con oxígeno en el escape en niveles de hasta 9%.

La mayoría de los motores “estándar” o “estequiométrico” usan relación de compresión de 7:1 ó 10,5:1 . Esto es necesario porque, como mencionamos antes, el gas es mezclado con el aire entrando al cilindro en la carrera de admisión; si el calor de compresión llega a ser demasiado grande en la carrera de compresión, el gas se quemará por si sólo, antes que el pistón llegue al punto muerto superior. La mayor relación de compresión, hace que el motor sea más sensible al poder calorífico del combustible, sincronización del motor y temperatura de combustión. Estas bajas relaciones de compresión dan razonable consumo de combustible y es suficiente para no necesitar altas tecnologías en el control del motor para una adecuada vida del motor. Los motores Diesel por otro lado, pueden funcionar con relaciones de compresión de 16:1 a 22:1. Por la baja relación de compresión, y por usar un combustible seco, el motor a gas normalmente tiene mayor vida que un Diesel.

En un motor a gas estequiométrico, la temperatura de combustión puede llegar a 2.480 °C (4.500 °F). Esto es mucho más caliente que un Diesel; entonces, por los gases más calientes en el motor a gas necesita mayor capacidad de refrigeración o colectores de escape blindados de agua.

Los motores a gas Caterpillar están disponibles en relaciones de compresión “alta” y “baja” (HCR y LCR), permitiendo usar una gran variedad de combustibles. Cuando se usa una alta relación de compresión, el número de combustibles gaseosos con el que puede ser usado, es limitado, pero el consumo específico de combustible es bajo. Por otro lado, las bajas relaciones de compresión tienen un mayor consumo específico de combustible pero puede usar una gran variedad de combustibles.

La clave de la eficiencia de un motor a gas es usar la mayor relación de compresión posible para el tipo de combustible usado. Esto optimizará el consumo del combustible del motor.

Los motores a gas CAT están equipados con válvulas de escape y asientos de válvula diseñados específicamente para el uso en motores a gas. La cara de la válvula es más dura que del Diesel para mayor resistencia al desgaste. Los asientos para cada tipo de motor están hechos del mismo material pero la superficie del asiento en el del motor a gas es más ancho.

Usando un motor "estándar" o "estequiométrico" G379 y un D379 para comparación, notamos que el aire de ingreso en el motor a gas es aproximadamente la mitad del Diesel. Una ignición de mezcla aire-combustible en el Diesel no es uniforme y se requiere un exceso de aire para quemar completamente el combustible. En el motor a gas la mezcla aire-combustible se mantiene en una relación constante a cualquier carga del motor. La relación aire-combustible para un motor a gas es aproximadamente 15:1, sin relación con la carga y velocidad. El motor Diesel cambia la relación aire-combustible con la velocidad o la carga, pero una relación de 25:1 es muy común a una carga continua y RPM nominal.

Debido a las más altas temperaturas de combustión y la falta de exceso de aire, el motor estequiométrico tiene entre 94 a 140 °C (200 a 300 °F) de temperatura de escape mayor que un Diesel.

Los motores a gas CAT utilizan colectores de escape refrigerados por agua, aumentando la transferencia de calor de los gases calientes de escape.

En la actualidad, una gran variedad de gobernadores son usados en los motores a gas CAT, para varias aplicaciones. Los motores G3500 y G3600 usan el gobernador 3161 para la mayoría de aplicaciones industriales. En la figura 69 se muestra el gobernador 3161 instalado en la parte delantera de un motor G3516. El gobernador 3161 es un equivalente del Woodward UG8, pero con mayor capacidad de fuerza en el varillaje, la cual es requerido para motores más grandes.



Fig. 69.- Gobernador instalado en un motor G3500.

Al mismo tiempo, el gobernador electrónico Woodward 2301A es frecuentemente usado en aplicaciones de generación eléctrica. Muchos motores CAT aún usan el Caterpillar hidromecánico, en todos los propósitos como gobernador para aplicaciones en compresores y bombas. Tiene cerca de 10% de regulación a máxima carga o sin carga, en modo síncrono y RPM nominal. La regulación se incrementa en 20% o más en motores de velocidad reducida. Un gran número de gobernadores están disponibles como opciones, como se ve en la figura 70.



Fig. 70.- Tipos de gobernadores.

El Woodward UG8L lever-control es un gobernador hidráulico usado para proveer una buena regulación y respuesta bajo aceleraciones variables de operación. Es común encontrar en perforadoras y como un gobernador alternativo en compresoras a gas.

El gobernador UG8D Diar y PSG provee buena respuesta y reparto de carga con cerca de 3% de regulación de velocidad y es ampliamente usado en generación eléctrica.

El gobernador eléctrico EG3P / 2301 tiene rápida respuesta y rápido reparto de carga con operación isócrona a máxima carga y sin carga.

Estos gobernadores son ampliamente usados en generadores donde es requerido una frecuencia constante e igual reparto de carga entre dos o más generadores.

CAPITULO VI

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE UN MOTOR A GAS G3500

6.1.- INSPECCIONES DIARIAS:

Diariamente se debe inspeccionar alrededor del motor, para ver si hay fugas, conexiones flojas, o cualquier cosa que no esté correcta; revisar el nivel de aceite antes de poner en marcha el motor y luego que el motor está en marcha, verificar los parámetros de funcionamiento.

Para revisar el nivel de aceite del motor en un G3500, el motor debe estar funcionando y el nivel de la varilla debe estar entre las marcas "A" (agregar - add) y "F" (lleno - full). Por supuesto que también se debe verificar el indicador de presión de aceite (fig. 71).



Fig. 71.- Medición de nivel de aceite.

Varios motores a gas están equipados con un sistema de pre-lubricación. Su propósito es suministrar lubricación a los componentes críticos antes que arranque el motor y reducen el tiempo requerido para que el motor consiga su capacidad de máxima carga.

También se debe verificar el nivel del refrigerante y la condición del sello de la tapa del radiador.

De ser necesario se debe agregar acondicionador de refrigerante. La cantidad y frecuencia para agregar acondicionador variará de acuerdo al tamaño y uso del sistema de refrigeración.

Los filtros de aire están equipados con un indicador de servicio, el cual está instalado después del filtro. Si el elemento filtrante se ensucia, el flujo de aire a través del elemento es restringido. Esto incrementa el vacío en la admisión y es registrado por el indicador. Cuando el pistón en el indicador se traba en una posición visible, se debe reemplazar el elemento. Los indicadores usados en motores de aspiración natural indican la necesidad del cambio del elemento a 38 cm de agua mientras el indicador usado en motores T.A. indican la necesidad de cambio del elemento a 64 cm de agua. Estos indicadores no deben ser intercambiados.

Para reemplazar el elemento, hay que remover la tapa del filtro de aire y sacar el elemento usado. Se debe limpiar el interior del cuerpo y tapa del filtro de aire antes de instalar un nuevo elemento (fig. 72).

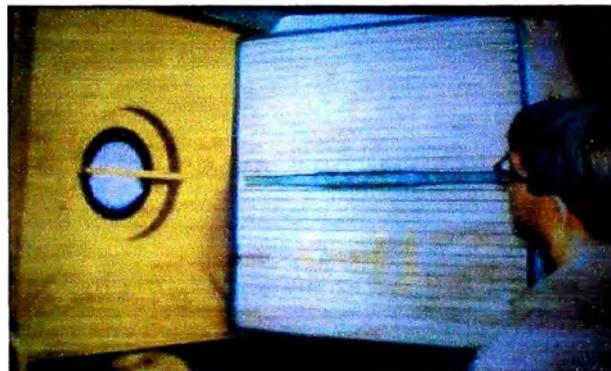


Fig. 72.- Cambio de filtro de aire.

Es importante que mientras se limpia el interior del filtro de aire, se debe cubrir la entrada al turbo para prevenir que ingrese suciedad a

la admisión y luego retirarlo antes de instalar un nuevo filtro o un filtro lavado.

Además, en aquellos gobernadores que contienen reservorios como el UG8, se debe chequear el nivel de aceite en la mirilla diariamente. El nivel debe mantenerse entre las marcas en la mirilla. El gobernador 3161 usado en los motores G3500 usa aceite del motor y no necesita esta verificación.

Para estos tipos de gobernadores (UG8), el aceite debe ser cambiado cada 1.000 horas de trabajo (fig. 73)

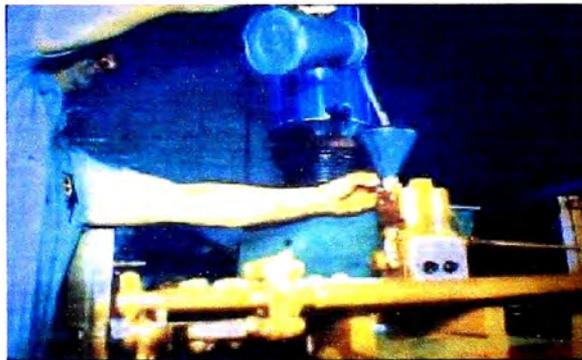


Fig. 73.- Cambio aceite del gobernador UG8.

6.2.- SEMANALMENTE O CADA 250 HORAS.

Se debe revisar el nivel del electrolito en las baterías.

6.3.- MENSUALMENTE O CADA 1.000 HORAS.

Mensualmente se debe cambiar los filtros y aceite. La mayoría de motores tiene un indicador de presión diferencial para monitorear la condición de los filtros de aceite (fig. 74). En los motores G3500 los

filtros de aceite deben ser cambiados cuando el indicador del tablero de instrumentos marque 195 kPa (15 Psi) de presión diferencial con el motor a velocidad nominal y a la temperatura de operación.

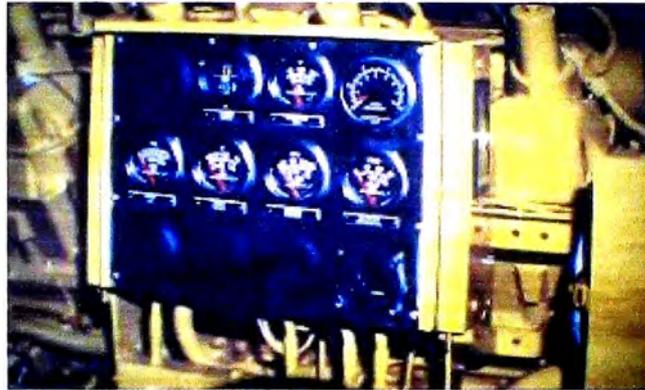


Fig. 74.- Tablero de instrumentos.

Antes de remover los filtros de aceite, es necesario drenar el aceite de la caja de filtros, luego remover la tapa del extremo de la caja donde está el tapón de drenaje y cambiar los elementos filtrantes.

La selección del elemento del filtro de aceite es muy importante en el mantenimiento del sistema de lubricación. Estar seguros de usar filtros de aceite fabricados con papel de alta calidad resistentes a la presión. La porosidad del papel no debe ser demasiado pequeño o el filtro se taponará rápidamente, ni tampoco debe ser demasiado grande, ya que no cumplirá su función filtrante.

También se debe limpiar el respiradero del cárter. Un respiradero sucio permite la aparición de productos corrosivos y humedad en el aceite. En los motores de 158,8 mm (6,25 plg) de diámetro del cilindro, el respiradero está localizado en la unión de la "V" del motor. El respiradero debe ser removido, limpiado y lavado con solvente no inflamable, en cada cambio de filtro (fig. 75).

En los motores G3500 el respiradero está localizado en la tapa de balancines y es más fácil su servicio que en los G300. Este respiradero también debe ser lavado con solvente no inflamable en cada cambio de filtro.

El mantenimiento del sistema de lubricación varía en cada aplicación y modelo de los motores a gas.



Fig. 75.- Mantenimiento del respiradero del carter.

6.4.- CADA DOS MESES O 2.000 HORAS.

Se debe chequear y ajustar la luz de válvulas. En los motores G3500 junto con la calibración de válvulas, deben ser ajustados primero los puentes de válvula.

6.5.- ANUALMENTE O CADA 8.000 HORAS.

Se debe lavar el respiradero de la válvula de derivación de los gases de escape (wastegate). En los motores G300 se debe remover el respiradero del wastegate y lavarlo con solvente no inflamable limpio cada 1.500 horas (fig. 76). En los motores G3500 debe ser removido y lavado con solvente no inflamable limpio cada 12 meses u 8.000

horas de operacion intermitente, otros modelos necesitan lavarlo en diferentes intervalos.



Fig. 76.- Mantenimiento de la válvula by-pass del escape.

CAPITULO VII

PLAN DE COSTOS DE MANTENIMIENTO

Un programa de mantenimiento satisfactorio debe maximizar la utilidad económica de un producto u operación. Para un motor a gas, los costos directos de mantenimiento pueden incluir los costos de repuestos, mano de obra y lubricantes, además de los costos indirectos como viaje, alimentación y herramientas. También los costos por tiempo perdido del equipo, y pérdida de utilidad por producción pueden ser incluidos. Todos los costos considerados deben ser entendidos y contabilizados en el plan de mantenimiento total para un proyecto o proceso.

Un plan de administración del mantenimiento puede ser tan simple como programar los requerimientos del próximo intervalo de servicio y procesar los resultados en la computadora, basados en un plan de procedimientos y recolección de datos para una completa instalación de potencia. Sin embargo, las necesidades para el plan de administración del mantenimiento nunca debe ser tan grandes como lo pronosticado como utilidad de generación para un proyecto o proceso. En cualquier situación, el planeamiento del mantenimiento tiene los siguientes beneficios:

- Reducción del tiempo muerto mientras se ejecuta el servicio.

- Reducción del costo de las horas-hombre programadas.

- Reducción de costos de repuestos, reusando, remanufacturando o cambiando sólo los repuestos necesarios.

- Aumento de la vida útil del proyecto a través del incremento de la disponibilidad.

Los planes de mantenimiento pueden ser diseñados de muchas maneras diferentes, pero siempre están agrupados en tres categorías; estas categorías se muestran en la tabla 14.

Tabla 14.- Relación de beneficios y costo del plan de mantenimiento.

Plan de mantenimiento	Beneficios	Costos
Mantenimiento correctivo después de la falla	<ul style="list-style-type: none"> - Ahorro de los costos fijos. - Bajo requerimiento de horas-hombre. - Bajo requerimiento de herramientas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Incremento de costos variables. - Pobre control de los costos de mantenimiento. - Disminución de la disponibilidad.
Mantenimiento programado.	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de la disponibilidad. - Aumento de la efectividad. - Bajos costos del mantenimiento total. 	<ul style="list-style-type: none"> - Costos para crear y manejar el plan. - Incremento del requerimiento de horas-hombre. - El plan debe ser supervisado.
Mantenimiento preventivo	<ul style="list-style-type: none"> - Incremento continuado en disponibilidad y efectividad. - Disminución del sobre-tiempo. - Detección temprana del problema. 	<ul style="list-style-type: none"> - Costos en herramientas de diagnóstico. - Requerimiento de horas-hombre para el análisis. - Requerimiento de control de "tendencia de mantenimiento".

7.1.- PLAN DE TENDENCIA DE MANTENIMIENTO :

Los costos relativos de los tres planes, tanto del mantenimiento correctivo después de la falla, el mantenimiento programado y el mantenimiento preventivo, se muestran en la figura 77:

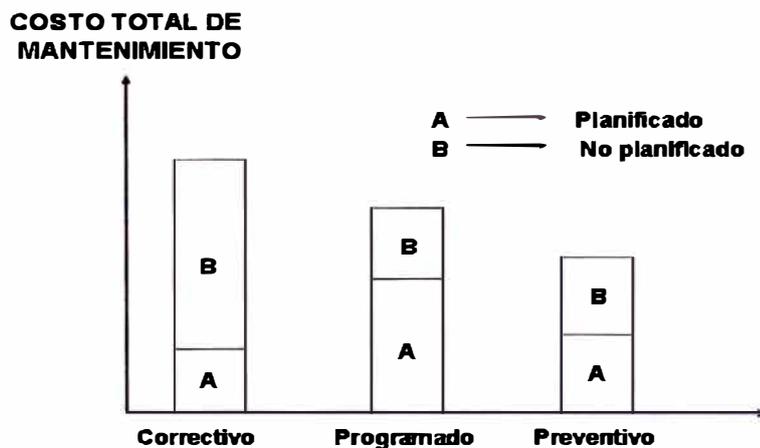


Fig. 77.- Costos de mantenimiento.

Como se puede notar, para el plan de mantenimiento correctivo, hay relativamente costos de mantenimiento planificado bajos, pero altos costos para mantenimiento no planificado. También, estos costos no planificados tienden a incrementar el sobretiempo y permite fallas prematuras del equipo.

Para el mantenimiento programado, los costos de mantenimiento planificado se incrementan. Esto es el resultado de estudios para crear y ejecutar el plan, repuestos adicionales y mano de obra a intervalos regulares y la tendencia a ejecutar el mantenimiento, a pesar de la condición del equipo. Sin embargo, el incremento en el costo planificado es más grande, pero la reducción en el costo no planificado hace que el costo total del mantenimiento se reduzca.

Para el plan de mantenimiento preventivo, los costos planificados son menores que los costos programados y estos costos tienden a disminuir el sobretiempo. Dado que los requerimientos del mantenimiento están determinados basándose en la historia y operación del equipo, el servicio planificado está ajustado para conocer las necesidades específicas de la instalación. También para un buen mantenimiento preventivo y diseñado, los costos no planificados no son tan grandes como en el mantenimiento programado y en algunos casos son menores.

Para un verdadero programa de mantenimiento preventivo, un plan y procesamientos deben ser puestos en práctica, y, continuamente debe ser alimentado con la mayor información recolectada, transmitida, analizada y efectuada en la manera apropiada. En este caso, el menor costo posible de mantenimiento, es realizado; sin embargo, un buen programa de mantenimiento preventivo puede ser la víctima de su propio éxito. Desde que el equipo está trabajando

bien, el programa preventivo y el sobretiempo pueden ser reducidos. El equipo podría entonces sufrir debido al incremento de no disponibilidad y costos de mantenimiento no programado. Para mantener el negocio del mantenimiento preventivo, es imperativo que el programa sea continuamente justificado. Esto es mejor hecho comparando regularmente los costos de mantenimiento con las metas, objetivos y esfuerzos por mejorar en los costos totales. Este proceso regular de revisión ayudará al planificador del mantenimiento a mantener el mantenimiento preventivo como prioridad en la organización.

Para los motores a gas CAT, el planeamiento apropiado del mantenimiento comienza con leer y entender el manual de operación y mantenimiento. Las secciones de operación del manual ayudarán a entender el camino apropiado para el arranque, operación y apagado del motor CAT. La sección de mantenimiento nos ayudará con los pasos necesarios para realizar el plan de mantenimiento, y conseguir la mayor utilidad del motor a gas o equipo.

El mantenimiento del motor a gas está dividido en cuatro categorías de servicio

1. Mantenimiento periódico preventivo.
2. Reparación Superior
3. Reparación en el monoblock.
4. Reparación General.

7.1.1.- MANTENIMIENTO PERIODICO PREVENTIVO:

El mantenimiento periódico preventivo está diseñado para evitar paradas no programadas con un apropiado planeamiento y ejecución.

Las pérdidas de utilidad debido a paradas no programadas deben mantenerse en un nivel mínimo.

El mantenimiento periódico preventivo incluye items para el servicio, basados en el número de horas de trabajo del motor. Estos programas están basados en muchas horas de experiencia en el laboratorio y campo y están diseñados para proveer el mínimo tiempo de parada y la máxima utilidad de producción.

Cuando se intenta exceder el intervalo de servicio recomendado para motores en ciertas aplicaciones, la utilidad adicional lograda por alargar el intervalo de servicio sin el planeamiento apropiado es normalmente menor que la utilidad perdida por paradas inesperadas o fallas debido a esta práctica.

El mantenimiento periódico preventivo incluye reemplazo de respuestas tales como filtros de aceite, aire, combustible y bujías. También están incluidas ajustes como luz de válvulas, proyección del desgaste de válvulas y medida de luz de bujías. La lubricación de varillajes, como la rótula del control de combustible y juntas de la varilla del actuador también están incluidas tanto como el cambio de aceites y refrigerantes como resultado de los continuos análisis. Cada ítem debe ser programado basado en los intervalos recomendados por CAT en el manual de operación y mantenimiento.

En algunas aplicaciones, tal como chillers o generadores continuos, puede ser difícil completar el servicio del mantenimiento programado en las horas recomendadas. Esto es debido a la necesidad de producción de energía continua a través de un periodo crítico. En estas situaciones, es necesario un plan de mantenimiento que monitoree las muestras de aceite, restricción de filtros y temperaturas

de escape y preparar una acción inmediata si hay condiciones limitantes. En cualquier caso, puede haber cierta degradación esperada en la vida total de los componentes y asociado a un incremento de los costos de mantenimiento debido a esta práctica.

También algunas aplicaciones, como los generadores en stand by o aplicaciones de bombeo, requieren que el motor trabaje sólo durante periodos cortos durante el año. En estas situaciones, se necesita un plan de mantenimiento diferente, cuando los servicios programados son completados después que el motor ha sido arrancado. Esto asegurará que el motor esté siempre preparado para la próxima operación requerida y los items de mantenimiento ya no son olvidados por largos periodos de tiempo.

7.1.2.- REPARACION SUPERIOR (TOP END)

El “top end” es considerado el primer intervalo de servicio para un motor a gas. Generalmente, este servicio incluye remover, renovar y reemplazar las culatas, reparando el turbo (si está equipado), además de la inspección y mantenimiento de otras partes del motor y equipo accionado o acoplado.

El camino recomendado para programar el “top end” es medir la proyección de desgaste de válvulas durante los servicios del mantenimiento programado; esta medición provee una indicación precisa de los rangos de desgaste de la válvula y puede ser usada para predecir cuando debe ser cambiada una culata. También, si el motor está equipado con un turbo, es recomendado mediciones periódicas del juego axial de la turbina y la luz de la bocina para determinar cuándo requiere reparación el turbo.

En la mayoría de aplicaciones, el desgaste de válvulas de las culatas determinará cuándo se requiere un top end. En algunas aplicaciones, como en las que la carga varía frecuentemente, la reparación del turbo ocurrirá primero en estas situaciones, entonces la reparación del turbo se hará separadamente de la reparación de las culatas.

El “top end” requiere de más herramientas que las que se necesitan en el mantenimiento preventivo. Torquímetros, diales indicadores, herramientas de precisión de medición, equipo de limpieza y reparación son usados para dar al motor las especificaciones del fabricante. Para la serie G3600, se requieren herramientas hidráulicas para remover y reinstalar las culatas.

Se debe estar preparado en el plan de mantenimiento para corregir problemas inesperados que se puedan encontrar durante el “top end”. Estos pueden incluir desgaste en los cilindros por excesivo consumo de aceite, post-enfriadores taponados por el mantenimiento pobre del refrigerante, enfriador de aceite desgarrado por sulfuro de hidrógeno en el combustible o reparación del carburador.

El intervalo de mantenimiento y overhaul recomendado más adelante, nos servirá de guía para realizar los “top end” en motores a gas estándar. Se debe usar las mediciones de proyección de desgaste de válvulas y rangos de desgastes del turbo para determinar el actual intervalo para realizar el “top end”.

En general, las culatas se desgastan en diferente medida. En aplicaciones donde es permitido, la mejor decisión será cambiar las culatas en diferentes tiempos, dependiendo de las mediciones de la proyección de desgaste de válvulas para cada culata individualmente. Sin embargo, esta decisión puede incluir el costo de paradas

adicionales causadas por este procedimiento. Se debe realizar un análisis económico para determinar si el overhaul de la culata será realizado como grupo, o si el cambio programado de las culatas puede ser dividido en 2 pequeños grupos.

7.1.3.- REPARACION EN EL MONOBLOCK:

El segundo servicio para un motor a gas es la reparación en el monoblock. Este servicio incluye todos los trabajos hechos para un “top end”, con el adicional de inspeccionar y reemplazar anillos de pistón, metales de biela y bancada, cilindros y sellos,. También, deben ser inspeccionados y reemplazados necesariamente, otros componentes de desgaste como levantadores de válvula, bocinas del tren de engranajes, amortiguadores de vibración y sellos. El generador o equipo accionado también requiere servicio en esta reparación del motor.

Esta reparación típicamente, no requiere que el motor sea removido de su ubicación, pero a veces la reparación es completada con el motor en su lugar. Para algunos motores pequeños, o en casos donde el cliente requiere el mínimo de interrupción de producción de energía, el motor puede ser reemplazado con un motor remanufacturado y de especificaciones idénticas, y, si el motor es más grande, se alquila otra unidad durante el tiempo que dura la reparación. Programar una reparación en el monoblock depende normalmente de tres mediciones, comúnmente llamados indicadores, los cuales son:

Incremento del consumo de aceite.

Incremento de los gases del cárter.

Disminución y variación en la compresión de los cilindros.

Cada una de estas mediciones solas no indican la necesidad de hacer una reparación, pero cuando son considerados como grupo es el mejor camino para determinar cuándo es necesario la reparación en el monoblock.

También la tabla 15 describe el intervalo esperado para aplicaciones específicas para realizar una reparación en el monoblock y es construido para guiar al operador o cuando CAT espera que un motor a gas requiere una reparación en operación normal. Si un motor está operando dentro del límite aceptable de los parámetros, entonces no es necesario que sea reparado a pesar de haber llegado al intervalo de servicio.

Tabla 15.- Parámetros de medición para determinar una reparación.

Parámetro	Unidad	Intervalo de medición					Porcentaje máximo de aumento
		Base	1	2	3	4	
		1.000 h	8.000 h	16.000 h	24.000 h	32.000 h	
Consumo de aceite	lt/día	7,5	8,3	9,5	13,2	19,6	260%
Gases del cárter	m ³ /h	15,5	17,0	18,5	21,0	28,5	180%
Pérdida promedio de compresión en los cilindros.	kPa	1.700	1.650	1.625	1.600	1.550	8%

Cada uno de estos 3 indicadores deben ser periódicamente medidos. La primera medición debe ocurrir cuando el motor ha llegado a su primer servicio programado. El mantenimiento preventivo debe establecer la línea base para las futuras mediciones, luego se debe tomar las medidas de los indicadores a intervalos regulares para determinar cuándo será programado la próxima reparación.

De esta información, la reparación en el monoblock debería programarse cuando todos los indicadores llegan al límite.

NOTA: Estos indicadores no significa que son determinantes para que un motor sea parado para el servicio. Esto sólo significa que un motor debe ser programado para el servicio en el tiempo más pronto posible. Si un motor está trabajando con un desempeño aceptable, no es un requerimiento para realizar de inmediato la reparación.

Normalmente, los cambios en los indicadores que requieren programar el overhaul son:

Consumo de aceite	: incremento 300%.
Gases del cárter	: incremento de 200%.
Pérdida compresión en los cilindros	: 20% en promedio

7.1.4.- REPARACION GENERAL:

El último servicio para un motor a gas es la reparación general. Este servicio incluye todos los trabajos realizados en un “top end”, más otros adicionales y mano de obra, para la reparación general del motor. En algunos, pero no en todos los casos, el motor es removido de su ubicación y llevado a un taller aparte. En este servicio, todos los rodajes, bocinas, sellos, empaquetaduras y repuestos que se desgastan, deben ser desarmados, lavados, inspeccionados y reemplazados de ser necesario. Dependiendo del desgaste, el cigüeñal debe ser rectificado a los límites especificados o reemplazado por otro cigüeñal. El equipo accionado también deberá ser programado para su reparación al mismo tiempo. Para eso se debe solicitar al fabricante del equipo, el intervalo apropiado para la reparación y sus especificaciones.

El método más común usado para determinar cuándo se requiere una reparación general, es monitorear el desgaste de los metales en el

análisis del aceite. El incremento de cantidades de metal son una indicación que los metales de biela o bancada y superficies de desgaste necesitan ser renovados. También el incremento de ruidos y niveles de vibración indican que las partes rotativas están alcanzando su vida útil y requieren servicio.

NOTA: Para los servicios de mantenimiento superior, en el monoblock y general, existen partes remanufacturadas (reconstruidas o reparadas por el fabricante) para reducir costos. Estas partes remanufacturadas son: culatas, bombas de agua y aceite, turbos, y están garantizados por CAT.

7.2.- CONSIDERACIONES DE LOS COMBUSTIBLES

Como existen variedades y tipos de combustibles, es necesario definir estos combustibles para determinar la aceptabilidad para motores a gas CAT y sus efectos en los costos de mantenimiento. Mientras algunos combustibles, como el gas natural, propano y gas de campo han sido usados por muchos años, nuevos tipos de combustibles como el biogás y el propano especial, necesitan ser revisados por su aceptabilidad.

En cada región, los recursos de combustibles gaseosos pueden variar en cuanto a los porcentajes de cada gas como elemento del gas combustible, lo cual influye en la capacidad de aceptación de carga y la resistencia del motor a la detonación. Mayor aumento de metano indica un incremento de la resistencia a la detonación del motor y menor irradiación de calor durante la combustión. Cada uno de estos factores generalmente tienden a alargar la vida efectiva de los componentes del motor y además a reducir los costos del mantenimiento total.

- * CAT ha creado un programa para el cálculo del número de metano de un combustible gaseoso y ha incorporado los efectos de pequeñas cantidades de estos combustibles, probando en el laboratorio combinaciones de combustibles con 0 a 10% de estos elementos.

7.3.- EFECTOS DEL COMBUSTIBLE EN LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO:

En la figura 78 se muestra el efecto general del número de metano del gas en los costos de mantenimiento del motor. Nótese que con el incremento del número de metano por los niveles de propano a través del gas natural procesado, los costos de mantenimiento tienden a disminuir, sin embargo, cuando se encuentra biogás, los costos de mantenimiento tienden a incrementarse nuevamente.

COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO

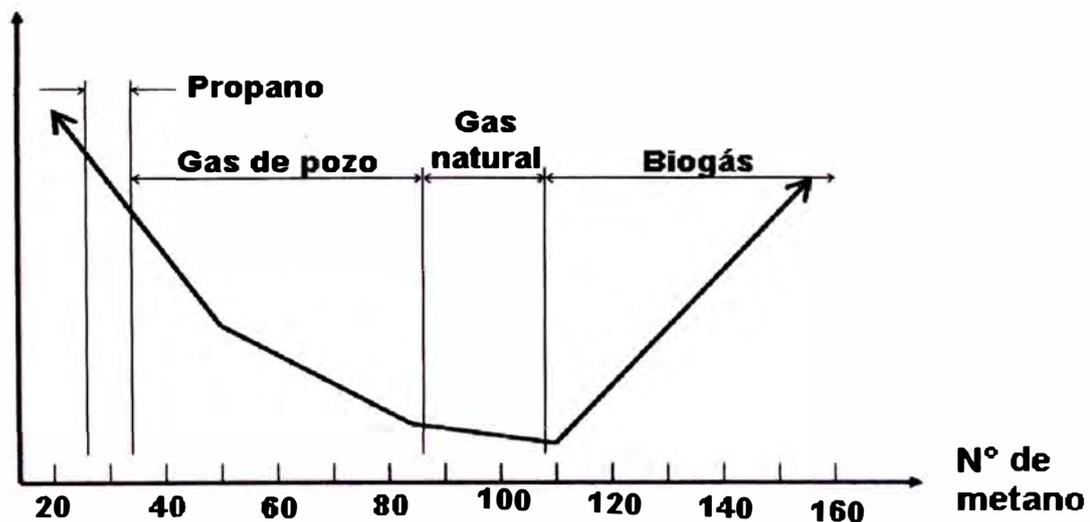


Fig. 78.- Influencia del número de metano en los costos de mantenimiento.

7.3.1.- PROPANO Y VARIACIONES DE PROPANO:

El gas propano puro es más pesado que el gas que es transportado en estado líquido al lugar de trabajo y transformado en vapor antes de ingresar al múltiple de admisión del motor. El propano estándar conocido como HD-S propano, contiene al menos 95% de propano en volumen y el 5% restante contiene una mezcla de butano, pentano, y hexano. El propano HD-S tiene un poder calorífico inferior entre 85,7 y 89,4 MJ/m³, resultando con un poder calorífico mayor entre 2 y 3 veces que el del gas natural seco procesado.

El propano de trabajo especial es de mayor calidad que el propano HD-S. Este combustible tiene menores cantidades de hidrocarburos pesados y es diseñado para alcanzar las necesidades más restrictivas de operación del motor bajo las más severas condiciones.

El propano de trabajo especial provee similar combustión y capacidades de potencia que el propano estándar, pero se ha incrementado su resistencia a la detonación durante la combustión.

Una mezcla de propano y aire tiene un poder calorífico aproximadamente igual al del gas natural seco procesado. Estos combustibles son generalmente usados como combustibles stand by para motores a gas natural durante una interrupción en el flujo de gas natural. Una mezcla de propano y aire puede proveer similares niveles de desempeño que el gas natural pero requerirá cambios en el avance del encendido y relación de compresión para reducir el deterioro y alcanzar aceptable vida de mantenimiento.

Propano y mezclas de butano son comercialmente disponibles en combustibles que exceden el 5% en volumen de la mezcla total. Este

gas es la más difícil de las mezclas de propano disponibles para quemar y sólo deberían ser usados en motores a gas propiamente equipados, generalmente en motores con bajas relaciones de compresión y bajos factores de carga.

Los combustibles a base de propano son aceptables para usar en motores a gas equipados apropiadamente. Generalmente se necesitan bajas relaciones de compresión, aspiración natural y retardo del encendido para operar satisfactoriamente, sin embargo algunos motores turboalimentados pueden operar con combustibles de propano.

Debido al alto rango de calor emanado por mezclas de propano, los motores que trabajan con este combustible tienen más altas temperaturas en el escape que con gas natural. Las altas temperaturas generalmente acortan la vida de culatas, múltiples y turbos y elevan los costos totales de mantenimiento. también la tendencia a detonar de las mezclas de propano pueden acortar la vida de los componentes del motor y a elevar los costos, mientras el propano sea un combustible viable para usar en muchos motores a gas CAT, el mayor costo de combustible y mayores costos de mantenimiento, asociado con éste combustible lo hace una opción secundaria frente al gas natural seco procesado.

7.3.2.- GAS DE CAMPO O DE CABEZA DE POZO:

El gas de campo es cualquier combustible gaseoso que está disponible en la cabeza del pozo, y generalmente tiene mínimos procesos antes del ingresar al colector de combustible. Este combustible es mayormente usado en aplicaciones de compresión de gas, donde el gas quemado es el mismo gas que esta siendo

comprimido. El gas de campo es una mezcla de metano, etano, propano, butano, pentano y hexano, que tiene amplias variaciones de composición y características de quemado. Se diseñan procesos de secado, separadores de líquidos e intercambiadores de calor de combustible en el lugar para remover agua e hidrocarburos líquidos, donde las porciones de vapor pueden ser derivados al motor para la combustión.

La composición del gas de campo varía de gas de campo a gas de campo, y entre pozos con el mismo gas de campo. Debido a esta variación, se necesita un análisis del gas combustible para determinar si el combustible es aceptable para un motor a gas CAT en particular. La composición del gas combustible también cambia en el tiempo, requiriendo un margen permisible para esta variación durante la vida del proyecto.

Los gases de campo pueden incrementar los costos de mantenimiento debido al acortamiento en los intervalos esperados para la reparación de la mayoría de componentes. Sin embargo, hay también numerosos ejemplos de motores operando con gas de campo donde los intervalos para la reparación son mayores que los esperados. Es sabido que estas aplicaciones tienen programas de mantenimiento preventivo y prácticas con controles más severos usando una calidad de aceite recomendado para el motor; tienen factores de carga reducida de la máxima carga. Los costos de mantenimiento son, sin embargo, variables, pero que pueden ser manejables con un apropiado mantenimiento preventivo.

7.3.3- GAS NATURAL SECO PROCESADO:

El gas natural seco, también conocido como gas natural de tubería comercial, es una mezcla de metano, etano, propano y butano, además de trazas de elementos de hidrocarburos pesados. El gas natural seco normalmente se refiere a límites de hidrocarburos líquidos presentes a presión y temperatura local. No hay más de 10 ppm de sulfuro de hidrogeno (H_2S). El poder calorífico del gas natural seco procesado puede variar dependiendo del recurso de gas a nivel de procesamiento que el proveedor del combustible tenga. Generalmente, el gas natural seco tiene un poder calorífico inferior entre 33,5 y 34,6 MJ/m³.

El gas natural seco procesado es generalmente usado por ser el menos complejo para el quemado en un motor a gas y tiene una baja tendencia a la detonación. La correcta combinación de la relación de compresión del motor, temperatura del refrigerante del post-enfriador (sólo en motores turboalimentados) y ángulo de encendido del motor limitarán los efectos negativos de esta variación en el combustible y ayudarán a reducir los costos de mantenimiento.

También, un apropiado diseño y mantenimiento del equipo de filtración del combustible limitarán los daños debido a partículas extrañas y suciedad en el ingreso del sistema del combustible del motor, nuevamente incrementarán los intervalos de reparación y reducirán los posibles costos de mantenimiento.

El gas natural seco procesado es el combustible como primera opción para la mayoría de propietarios que tienen este combustible disponible y es ampliamente recomendado como la primera alternativa para los modernos motores a gas.

7.3.4.- BIOGAS:

Los biogases son generalmente clasificados como aquellos gases producidos de rellenos sanitarios o gases producidos en plantas digestoras. Puesto que estos gases son el resultado de descomposición orgánica, sus respectivas composiciones son muy diferentes y deberían ser considerados separadamente.

Gas de relleno sanitario

Los gases de relleno sanitario son el resultado de descomposición orgánica, y varía dependiendo de los materiales que son descompuestos. Los gases producidos son colectados por una tubería conectada con el de relleno sanitario para coleccionar el combustible para el motor. Este gas contiene principalmente entre 35 y 60% de metano y lo restante es principalmente dióxido de carbono además de trazas de otros elementos. Esta mezcla de combustible por si mismo puede proveer buenas características de combustión y larga vida para un motor a gas equipado apropiadamente. Sin embargo, elementos como el sulfuro de hidrógeno, cloruro, fluoruro, partículas de sílice y vapor saturado de agua pueden causar problemas significativos de mantenimiento para el motor y subsecuentemente mayores costos de mantenimiento, además de estos problemas, acorta la vida de las bujías, culatas; posibilidad de detonación debido a acumulamiento de sílice en el pistón y superficies de la culata, disminución de los intervalos de cambio de aceite y acumulación de sílice en el sistema de escape y turbos.

Los gases de relleno sanitario requieren de procesamiento antes de ser usados en un motor. Generalmente, compresores de gas succionan el gas del terreno y elevan la presión a un nivel que el motor pueda usar. Filtros y secadores remueven las partículas húmedas y líquidos. Estos procesos han llegado a ser altamente refinados para lugares en particular, aún así ningún paquete de tratamiento del combustible es una solución adecuada para todos los lugares de relleno sanitario. Se requiere un apropiado análisis de combustible de relleno sanitario para especificar el mejor proceso de tratamiento del combustible para cada aplicación. Los motores a gas CAT para uso con gas de relleno sanitario son diseñados para operar específicamente con estos combustibles. Estos motores tienen ciertas culatas, post-enfriador y ventilación del cárter, diseños que son efectuados para proteger componentes críticos del desgaste prematuro debido a contaminantes del gas de relleno sanitario. También, se requiere el incremento de la temperatura del agua de las chaquetas para evitar la formación de ácidos, además, con el aceite adecuado y un estricto programa de muestreo de aceite se minimiza los daños del ácido que ataca al motor.

Un apropiado tratamiento del combustible y diseño del motor pueden minimizar el incremento en los costos de mantenimiento debido al gas de relleno sanitario. La experiencia demuestra que el intervalo de cambio de aceite, a lo largo del “top end” o reparación en el monoblock, se reduce, debido al efecto de este combustible.

Gas digestor:

El gas digestor es el resultado de la descomposición de desperdicios en una planta de tratamiento de desperdicios. El gas digestor tiene propiedades similares al gas de relleno sanitario, excepto que este no contiene normalmente trazas de elementos dañinos que prevalecen en el gas de relleno sanitario, excepto por el sulfuro. Se requieren las mismas precauciones para el tratamiento del combustible y protecciones del motor que para el gas de relleno sanitario, pero los intervalos de mantenimiento y costos esperados pueden ser mejores que para el gas de relleno sanitario. Sin embargo, se usan las mismas recomendaciones de mantenimiento para ambos combustibles.

7.4.- EFECTOS DEL SULFURO DE HIDROGENO EN LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO DEL MOTOR:

El sulfuro de hidrógeno, en grandes cantidades, cambia al combustible en un gas ácido. Esta condición generalmente ocurre en combustibles de cabeza de pozo y Biogases. Típicamente, mezclas de propano y gas natural procesado no contienen grandes cantidades de sulfuro de hidrógeno.

El sulfuro de hidrógeno puede ser un elemento común en algunos gases de campo o en un producto de una operación industrial que es introducido al gas combustible para el motor. El sulfuro combinado con vapor de agua causa óxidos de azufre y ácido sulfúrico. Este ácido ataca superficies como de las camisas, enfriadores de aceite, post-enfriadores, válvulas y guías de válvula, anillos de pistón y

bulón de pistón y colectores de escape. Frecuentemente, el enfriador de aceite es el primer componente afectado por el ácido sulfúrico.

Los costos de mantenimiento se incrementan grandemente cuando el sulfuro de hidrógeno es introducido sin precauciones en la línea de suministro de combustible al motor. Varios sistemas de tratamiento están disponibles para reducir o eliminar el sulfuro de hidrógeno del combustible, sin embargo, estos medios de tratamiento aumentan los costos de mantenimiento, pero que son mucho más bajos que el costo de las reparaciones regulares para un motor sin protección.

Existen dos mediciones para determinar las cantidades aceptables de sulfuro de hidrógeno en cualquier gas combustible. Los niveles aceptables de sulfuro de hidrógeno usando estas dos medidas se muestran en la figura 79.

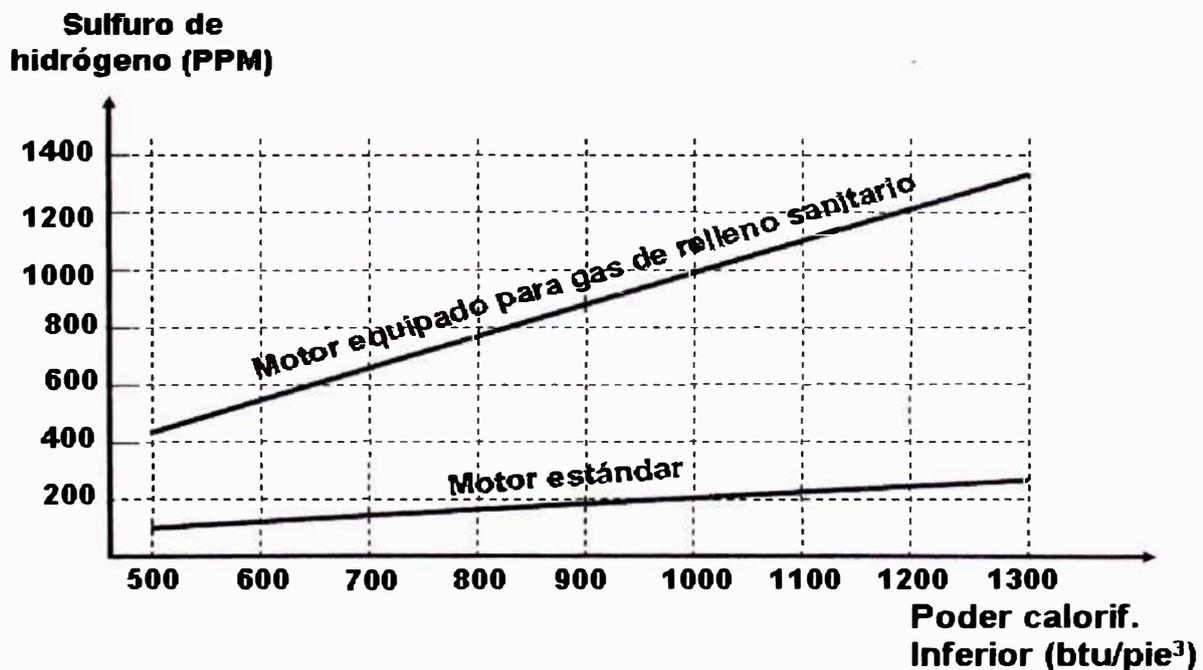


Fig. 79.- Límites de sulfuro de hidrógeno.

El equipo disponible para motores a gas de relleno sanitario debe ser usado si el valor obtenido de H_2S , excede el límite. Este equipo provee protección de los efectos de cantidades aceptables de H_2S en el gas combustible. También, comunmente, se usan otras técnicas de operación, como:

- a) Manteniendo las temperaturas de las chaquetas de agua y el aceite del motor en niveles adecuados para evitar formación de vapor de agua en los cilindros y enfriadores de aceite.
- b) Incrementando el valor del TBN (número de bases totales) del aceite lubricante para absorber los ácidos formados en el aceite.
- c) Mayor frecuencia en los cambios de aceite basados estrictamente en los resultados del análisis de aceite.
- d) Arrancando y parando el motor con gas natural cuando sea posible.

7.5.- FILTRACION DE COMBUSTIBLE:

Cualquier motor de combustión interna moderno depende de la limpieza en las líneas de aire, combustible y aceite para funcionar. Actualmente se han desarrollado y diseñado, modernos sistemas de filtración para retener partículas en el flujo de gas. Pero si estas partículas entran en la cámara de combustión o superficies de las bocinas, causarán daños a estas superficies. Cualquier daño reduce la habilidad del motor para producir potencia o extraer el calor, y reduce grandemente la vida de la parte o componente, incrementando los costos de mantenimiento para el propietario.

Los filtros de combustible no son menos importantes que los filtros de aire para proteger el motor a gas de suciedad y escorias. Por eso todos los propietarios, especialmente aquellos en condiciones de

abundante polvo, conocen la importancia de la filtración de aire. Las líneas de gas pueden tener suciedad y remanentes de escorias de la fabricación. Sin filtros de combustible, esta suciedad y escorias es directamente inyectado a la cámara de combustión del motor. Frecuentemente, se efectúan reparaciones o adiciones a la línea de gas, lo cual puede introducir suciedad y escorias que eventualmente llegan al motor si no tiene una buena filtración como protección.

Entre el 5 y 10% de la mezcla aire-combustible que llega a la cámara de combustión es el gas combustible en un motor a gas natural. Como un motor Diesel o a gasolina, el motor a gas también requiere un filtro de combustible, para la filtración del gas combustible. Un filtro apropiado retiene impurezas que pueden dañar los cilindros, pistones, turbos, reguladores, carburador y otros componentes relacionados al combustible. El daño a estos componentes incrementan grandemente los tiempos muertos y costos totales de mantenimiento, comparativamente, un apropiado filtro de combustible, como cualquier filtro de aire o aceite, es un camino muy barato para proteger el motor de daños. Muchas aplicaciones de motores a gas proveen filtración de combustible como parte del diseño de la planta, y estos instrumentos de filtración están incluidos en el mantenimiento normal de la planta.

Además, CAT no incluye un filtro de combustible estándar como parte de cada motor a gas. Sin embargo, filtros de combustible opcional están disponibles en CAT y son recomendados para proteger el motor de daños de escorias en el combustible cuando no es provista ninguna otra protección.

Hay que recordar que la filtración de combustible no es menos importante que la filtración de aire o aceite para proteger el motor de

suciedad y escorias. Los filtros de combustible ayudan a minimizar los costos de mantenimiento y maximizar la disponibilidad del motor.

7.6.- CONSIDERACIONES DEL ACEITE:

Con el continuo crecimiento de la población de motores a gas, los aceites para estos motores, son más disponibles que antes. De unos pocos suministradores originales de aceites para el mercado de gas, ahora hay cientos de abastecedores.

Los costos de mantenimiento, normalmente asociados con el aceite, son el llenado inicial de aceite, el rango de consumo de aceite del motor, el intervalo de cambio de aceite del cárter, los costos de análisis de aceites y los costos de manejo del aceite usado. Como el costo del aceite, análisis y manejo de aceite usado se incrementan, el costo total del mantenimiento del aceite, se incrementa.

El costo de mantenimiento del aceite es usualmente entre 10 y 20% del costo total del mantenimiento del motor. Este costo puede ser más alto, dependiendo de la fuente del gas combustible, ciclo de trabajo del motor, y también prácticas de mantenimiento, elevadas temperaturas del sistema de enfriamiento, bajas cargas y el nivel de desgaste en el motor afectará el consumo y la vida del aceite.

Si se usa un incorrecto aceite, esta causará desgaste de las guías de válvula del motor, depósitos en las guías de válvula, y/o problemas de agarrotamiento, entonces es muy posible que se requiera una reparación superior en sólo 10.000 horas de trabajo.

Seleccionar el mejor aceite es claramente una decisión entre el cliente final y el vendedor local de aceite. Diferentes marcas,

calidades y precios están disponibles en el mundo y el cliente final debe decidir qué tipo de aceite es el mejor para su necesidad particular.

Escoger un aceite que es inapropiado para una condición de motor específico puede resultar en incrementos significantivos en los costos de mantenimiento del motor. Problemas como camisas lavadas, anillos de pistón pegados, válvulas de motor pegados, carcasas y bocinas del turbo dañados y pérdida de lubricación pueden dañar o destruir partes móviles durante la operación, aumentando el tiempo muerto no programado e incrementando los costos de mantenimiento.

El costo de una reparación puede ser aproximadamente 4 veces el costo del aceite y puede causar más de 200 horas de tiempo muerto no programado para el propietario, inclusive si el aceite incorrecto fuera sólo 1/3 del costo de aceite correcto, el efecto neto del ahorro en costo de aceite es aún más grande por el gasto adicional y tiempo muerto de una reparación superior no programado.

CAT ofrece un aceite que ha sido diseñado específicamente para el motor CAT alimentado con combustible gaseoso. El NGEO (natural gas engine oil) ha sido probado en varios motores a gas natural, gas de campo y gas propano a través del mundo, en ambientes de demanda del cliente. Esta formulación del aceite ha demostrado ser superior para muchas marcas locales disponibles.

El NGEO de CAT es generalmente recomendado en aplicaciones donde no hay gas ácido o en aplicaciones sin biogás.

Otros fabricantes de aceites han iniciado pruebas con sus propias formulaciones y, en mercados específicos han mostrado resultados

satisfactorios en motores a gas CAT. Sin embargo, estas compañías de aceite pueden y hacen cambios en sus formulaciones del aceite, en algunos casos sin notificar al cliente de los cambios. Estos cambios pueden tener efectos negativos en el desempeño del motor y el tiempo de vida.

Algunos gases ácidos y el gas de relleno sanitario tienen requerimientos específicos para el aceite del motor para neutralizar el efecto de ácidos que llegan al cárter. La selección del aceite es especialmente crítico cuando los niveles de ácido se incrementan o varían en la vida del motor. Los aceites que usan TBN (número de base total) incrementado son necesarios para combinar con los ácidos y prevenir el ataque en las superficies del motor, más notorio en el enfriador de aceite. También se necesita un muestreo de aceite para el monitoreo de incremento en la acidez del aceite y partículas metálicas que incrementan los rangos de desgaste en los componentes. Sin embargo, valores altos de TBN, también permiten depósitos de cenizas en el motor, lo cual puede acortar la vida de válvulas y el turbo. Aún así, es importante definir el correcto incremento en el valor del TBN, sin exceder lo absolutamente necesario, de tal manera que el desgaste de válvulas y la reparación del turbo sean minimizados.

7.6.1.- MUESTREO DE ACEITE:

El análisis de aceite regularmente es el camino más efectivo para manejar los costos de aceite de un motor a gas. Si el aceite es cambiado demasiado pronto, se gasta dinero disponiendo de algo de vida útil del aceite. También, los costos de manejo de aceite usado son más altos que los necesarios. Si el aceite es cambiado más

tarde, el aceite y partes del motor pueden fallar y pueden ocurrir altos costos de mantenimiento.

El intervalo correcto para el cambio de aceite depende de varios factores, pero es más fácil determinarlo interpretando los resultados de los análisis de aceite periódicos.

Para motores a gas se necesitan 2 tipos de análisis:

Análisis de desgaste de metales

Análisis infrarrojo

El análisis de desgaste de metales incluye niveles de medición microscópica de metales específicos. Estas limaduras de metales, como el hierro, cobre, aluminio, zinc, plomo y cromo son reportados en partes por millón. Se necesita un análisis de la tendencia de estas limaduras para determinar si se necesitan acciones correctivas.

El análisis infrarrojo reporta los efectos de nitración y oxidación en la vida del aceite; la nitración ocurre cuando óxidos nítricos del proceso de combustión entran al cárter y se combinan con el aceite. La oxidación ocurre cuando la temperatura del aceite excede los límites y daña el aceite. Cuando la nitración o la oxidación ocurren, el aceite comienza a engrosarse más frecuentemente, visto esto como el incremento de viscosidad. En otro caso, un análisis infrarrojo provera una indicación de cuándo necesita ser cambiado el aceite.

Una vez que es completado el análisis de aceite, lo más importante es la interpretación y graficación de los resultados. Un solo reporte del análisis, frecuentemente no mostrará ningún problema inmediato con el aceite, sin embargo, muchos reportes graficados

correlativamente mostrarán la tendencia y ayudarán a determinar cuándo debería ser cambiado el aceite.

7.7.- CONSIDERACIONES DEL REFRIGERANTE:

Los sistemas de enfriamiento de los motores modernos requieren una correcta mezcla de agua, anticongelante y aditivo suplementario. Cada uno de estos componentes debe tener guías específicas para el sistema de enfriamiento del motor, para el apropiado desempeño y alcanzar los intervalos de mantenimiento esperados.

El sistema de enfriamiento debe proveer al motor las siguientes protecciones:

- Adecuada transferencia de calor del motor.

- Protección contra la cavitación de la bomba de agua.

- Protección al motor del congelamiento y evaporación del refrigerante.

- Protección al motor de la corrosión y acumulación de escamas de óxido (caliche).

- Compatibilidad con materiales de circuito externo (mangueras, sellos, tuberías)

La correcta mezcla de refrigerante proveerán los menores costos y menores problemas del sistema de enfriamiento para el motor y apropiado diseño del circuito externo de enfriamiento. Esto resultará en tiempos de parada mínimos y menores costos de mantenimiento para el propietario y/o propietario del equipo.

7.7.1.- AGUA BASE DEL REFRIGERANTE:

Se recomienda agua destilada o des-ionizada como base del refrigerante. Esta agua provee menos residuos minerales que el agua pesada. El agua que ha sido ablandada artificialmente con sales, no es recomendada.

El agua natural es corrosiva a las temperaturas de operación del motor. Se debe evitar operar un motor por periodos prolongados con baja carga, usando agua natural. También, el agua natural debe ser drenada y añadir mezcla de refrigerante adecuado tan pronto como sea posible luego de una prueba con carga con agua natural.

Agua de calidad pobre puede ser tratada con el proceso inverso de osmosis para proveer agua aceptable para el sistema de enfriamiento. El proceso inverso de osmosis ha sido desarrollado como referencia para proveer agua aceptable para limpieza de turbos en algunas operaciones con gas de relleno sanitario. Este proceso puede también ser usado para llenar y mantener niveles de agua en los circuitos de enfriamiento. Sin embargo, el agua tiene que ser reciclada a través de más de un proceso inverso de osmosis para obtener la mínima calidad aceptable de agua. Como con cualquier agua como base, un completo análisis debe ser efectuado para verificar que el proceso inverso de osmosis ha sido satisfactorio.

La mínima calidad aceptable de agua para motores a gas CAT, para uso en aplicaciones con temperatura de refrigerante se muestra en la tabla 16.

Tabla 16.- Valores límites de sustancias en el agua para base refrigerante.

	gr/lt	ppm
Cloruros	0,6	40
Sulfatos	1,6	100
Dureza total	2,7	170
Solidos totales	5,3	340
Acidez	5,5 - 9,0	

Los requerimientos del refrigerante para altas temperaturas del sistema de enfriamiento pueden ser diferentes, dependiendo de la temperatura requerida y del circuito externo.

7.7.2.- ADITIVO SUPLEMENTARIO DE REFRIGERANTE:

El aditivo suplementario de refrigerante es también conocido como acondicionador de refrigerante o inhibidor de corrosión. El aditivo es el medio para controlar la corrosión, cavitación y depósito de escamas en el sistema de enfriamiento así como para reducir el picado de las camisas del sistema de enfriamiento y debe ser tratado con un mínimo de 3% en volumen de aditivo durante todo el tiempo y mantenido en este nivel durante la operación normal, independientemente de la cantidad de anticongelante usado.

El nivel de aditivo no debe de exceder del 6% en volumen del sistema de enfriamiento. Algunos sistemas de enfriamiento han sufrido fuga prematura de refrigerante. No por el sello de la bomba, sino debido a una excesiva cantidad de aditivo en el circuito de enfriamiento.

Fallas para mantener estos niveles, pueden afectar a los impelentes de las bombas, sellos, paredes de las camisas, intercambiadores de

calor y causan recalentamiento debido a la pobre transferencia de calor. El costo de mantenimiento total y parada inesperada se incrementa si el sistema de enfriamiento no tiene el nivel específico de aditivo en la mezcla. En general, el costo de agregar y mantener el correcto nivel de refrigerante, es menos que el costo de parada y reparaciones en el motor por daños en la bomba de agua y camisas.

7.7.3.- ANTICONGELANTE:

CAT recomienda que los sistemas de enfriamiento de los motores a gas estándar sean operados con un mínimo de 30% de anticongelante en el circuito. Sin embargo, algunas aplicaciones, donde temperaturas de congelamiento no son esperados, tienen arranque satisfactorio sin anticongelante. Este hecho fue corroborado manteniendo el nivel de aditivo cerca al 6% del volumen total del sistema todo el tiempo y usando agua adecuada. Sin embargo, ni el agua o aditivo proveen el mismo tiempo de vida del sistema de enfriamiento como el refrigerante que usa anticongelante. Por esta razón, el anticongelante es recomendado sólo con agua adecuada y aditivos.

Diferentes tipos de mezclas de anticongelante, como el etileno y propilenoglicol, están disponibles en varias marcas. La capacidad de transferencia de calor de estas mezclas no siempre son las mismas, y, como resultado, el tamaño del sistema de enfriamiento y el diseño pueden ser afectadas por el tipo de refrigerante.

7.7.4.- LIMPIEZA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO:

Se recomienda drenar y lavar con agua a presión el sistema de enfriamiento para remover cualquier formación de costras en el motor y circuito externo. Esta formación afectará la habilidad de remover el calor del sistema de enfriamiento del motor y transferido a través del intercambio de calor. Como resultado, el sistema de enfriamiento del motor trabajará a elevadas temperaturas y puede ocurrir recalentamiento. También, puede ocurrir recalentamiento localizado dentro del motor aún con el sistema de enfriamiento total trabajando dentro de los límites. Por éstas razones es recomendable lavar con agua a presión el sistema de enfriamiento.

7.8.- CALCULO DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO:

Existen muchos métodos para calcular los costos de mantenimiento de un motor a gas. Los siguientes son los 3 métodos más comunes:

Costo por hora

Costo por kW/h

Costo por potencia anual

7.8.1.- COSTO POR HORA:

El costo por hora incluye los costos asociados completados en cada intervalo de servicio programado, dividido entre el tiempo para cada intervalo. Estos costos deberán incluir todos los costos directos del servicio, completado en el intervalo de servicio recomendado, así como los costos indirectos. Ejemplo de los costos a incluir son los costos por viajes al y del sitio de trabajo, horas de trabajo para

realizar el servicio, repuestos cambiados como parte del servicio y aceites u otros consumibles usados durante el servicio.

El tiempo muerto del motor y costos no recuperables no son normalmente incluidos en este cálculo, pero estos costos pueden ser sumados al costo total si se desea:

Una definición del costo por hora es:

El costo total de mantenimiento para un servicio específico, dividido entre las horas de operación entre un servicio específico.

Por ejemplo, si un motor a gas requiere 750 horas de servicio para ser intervenido, el costo actual del servicio puede ser como sigue:

Costos de viaje hacia y del lugar de trabajo	US\$ 250,00
Horas de trabajo para completar el servicio	US\$ 200,00
Repuestos usados	US\$ 185,00
Costo de fluidos (aceite) cambiados	US\$ 145,00
Costos de daño ambiental	US\$ 75,00
Costos indirectos de M.O. (reportes, etc.)	US\$ 35,00
TOTAL DE COSTOS	US\$ 890,00

El costo por hora puede ser calculado dividiendo el costo total entre el N° de horas que el motor ha acumulado entre el servicio:

$$\text{Costo por hora} = \text{US\$ } 890 / 750 \text{ horas} = 1,19 \text{ US\$/h}$$

Aunque el número de estos servicios serán requeridos sobre el tiempo de vida del motor, el costo total permanecerá en 1,19 US\$/hora de operación para este servicio. Esto es por que el costo es

repetitivo cada tiempo que el servicio es realizado, y no es acumulativo.

Otros costos, como la inflación, impuestos o gastos administrativos, necesitan ser sumados al total para calcular el correcto costo promedio del servicio sobre la vida del motor.

Un ejemplo resumido de todos los costos de mantenimiento se muestra en la tabla 17. Nótese en este ejemplo, que los costos de consumo de aceite han sido sumados. Los costos totales son sólo para propósitos del ejemplo y no son costos reales.

Tabla 17.- Ejemplo de costos de mantenimiento total.

SERVICIO	COSTO TOTAL (US\$)	INTERVALO (h)	COSTO HORARIO (US\$/h)
CHEQUEOS DIARIOS	16	24	0,67
SERVICIO MENSUAL	890	750	1,19
CONSUMO ACEITE	135	1.500	0,09
SERVICIO SEMIANUAL	2.215	4.000	0,55
SERVICIO ANUAL	3.820	8.000	0,48
REPARACION SUPERIOR	9.755	16.000	0,61
REPARACION EN MONOBLOCK	14.890	24.000	0,62
REPARACION GENERAL	32.500	48.000	0,68
	COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO		4,89

Estos resultados indican que el costo será de 4,89 US\$/h desde el arranque inicial del motor hasta la reparación general. Multiplicando esta tarifa por las 48.000 horas de vida esperada, el motor consumirá

US\$ 234.720 en costos de mantenimiento; cualquier inflación, impuestos y gastos administrativos necesitan ser sumados en el total si ellos son aplicados.

PRECAUCION: Cuando se calcula el costo por hora, asegurarse que sólo los costos adicionales asociados con cada servicio son sumados al costo total para ese servicio. Por ejemplo, si los filtros de aceite son cambiados cada 750 horas de servicio, asegurarse que el costo de cambio de filtros no está incluido en ningún otro servicio.

Con el cálculo del costo por hora, el cliente puede proyectar el costo para mantener un motor sobre su vida útil estimada y presupuestar apropiadamente sus gastos de mantenimiento.

7.8.2.- COSTO POR KILOWATT HORA ELECTRICO:

Otro método común del cálculo de costos de mantenimiento es determinar el costo por kilowatt hora eléctrico. Este cálculo es similar al utilizado para determinar el costo por hora, pero en adición, la cantidad de potencia que produce el motor debe ser considerado.

La ecuación a usar para calcular el costo por kilowatt hora eléctrico es:

Costo por hora para un servicio específico / Promedio de potencia eléctrica producida.

Este cálculo provee el beneficio de hacer comparaciones entre diferentes tamaños de motores a gas. También, otra tecnología (plantas de potencia de vapor, equipos de potencia Diesel, equipos

de turbina) pueden ser comparados con los costos del motor a gas cuando los cálculos son hechos en un costo por kilowatt hora básico. Como el ejemplo previo, se asume que el motor está produciendo un promedio de 550 kW eléctricos, usando la siguiente ecuación para calcular el costo por kilowatt hora eléctrico para esta unidad:

$$\text{US\$ } 234.720 / [(550 \text{ eKW})(48.000 \text{ h})] - 0,0089 \text{ US\$/kW.h}$$

Este resultado indica que costará US\$ 0,0089 por cada kW eléctrico que produce el motor trabajando. Como estos valores son muy bajos, algunas veces es más fácil cambiar estos valores en centavos por kW-h eléctrico en lugar de dólares por kW.h, entonces el resultado será 0,89 centavos de dólar por kW.h.

PRECAUCION: Asegurarse que los niveles de potencia estén reportados en kW eléctricos, no en potencia mecánica. También, asegurarse que una potencia promedio es considerado sobre la vida del proyecto, no la potencia de placa del motor. Estos 2 puntos pueden tener un mejor efecto en el resultado del cálculo de los costos de mantenimiento.

En general, los costos de mantenimiento en dólares por kW.h eléctrico tienden a caer cuanto más grande sea el generador. Esto es debido principalmente a la economía para paquetes más grandes.

7.8.3.- COSTO POR POTENCIA ANUAL:

Para muchas aplicaciones de motores industriales y compresores, los clientes prefieren calcular los costos de mantenimiento en términos de potencia por años de operación. Este cálculo es una variación de los costos por kW.h eléctrico, pero incluye el efecto de tiempo parcial de operación en los costos de mantenimiento.

Usar la siguiente ecuación para calcular el costo por potencia al año para esta unidad:

1. Dividir el costo de mantenimiento por hora entre la potencia promedio.
2. Tomar el valor del punto 1 y multiplicarlo por las horas de operación por año.

Regresando a nuestro ejemplo, asumimos que el motor opera 6.000 horas por año y está produciendo en promedio 550 kW de potencia.

La siguiente ecuación muestra como se calcula el costo por potencia al año:

$$(4,89 \text{ US\$/h} / 550 \text{ kW prom}) \times 6.000 \text{ h/año} = 53,35 \text{ US\$/kW.año}$$

Costo de potencia por año = 53,35 US\\$/kW.año

Nótese que cuando el número de horas por año que el motor trabaja se incrementa, el costo de mantenimiento del motor también se incrementa. Esto es debido a los servicios adicionales requeridos durante el año de trabajo. De esta manera un cliente con aplicación de compresor puede determinar el costo cuando está usando diferentes tiempos de trabajo en un proyecto.

De estos tres tipos de cálculos de costo presentados aquí, el método del costo por hora es el que más ampliamente se usa para calcular los costos de mantenimiento para un análisis de flujo de caja. También, el costo por kW.h eléctrico se usa para determinar el menor costo de mantenimiento para diferentes diseños de motor y tecnologías. Finalmente, el costo de potencia por año es el más

usado ampliamente en aplicaciones industriales y de compresión, donde se consideran niveles variables de tiempo de trabajo.

7.9.- MONITOREO DE LOS RESULTADOS DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO:

Luego que un motor es entregado al cliente y entra en operación, los intervalos de servicio de mantenimiento programado empiezan a acumularse. Un plan de mantenimiento bien diseñado tendrá repuestos, mano de obra, aceites, herramientas y deberá mantener un registro en el lugar para administrar los intervalos normales de mantenimiento. El plan también será estructurado para seguir los costos de mantenimiento para el motor.

Algunos propietarios conocen los datos para el mantenimiento del motor como el ajuste de luz de válvulas, vida de la bujía e intervalo de reparación. Sin embargo, en algunos casos, los administradores no están conscientes de los actuales costos requeridos para completar el mantenimiento específico en un motor particular.

El monitoreo de los costos actuales de mantenimiento del motor proporciona los siguientes beneficios:

- Información actualizada en los costos actuales del proyecto del motor.

- Tendencia de los costos para este motor a través de su vida útil de diseño.

- Ayuda para determinar la futura compra de un motor.

Excepto por el costo de combustible, los costos de mantenimiento son generalmente los costos más altos que un motor a gas incurrirá durante su vida útil. Conociendo los resultados de los costos actuales de mantenimiento es importante para entender los costos del ciclo de vida del proyecto.

Varios métodos existen para monitorear los costos de mantenimiento: facturas de repuestos y mano de obra, cargos de entrega de aceite, resultados de costos fijos de reparaciones e impuestos pueden ser recopilados y tabulados en una hoja de cálculo. En general, el formato gráfico es el método más efectivo para comunicar los resultados de los costos de mantenimiento y realizar futuras decisiones en el manejo del plan de mantenimiento.

7.10.- REDUCCION DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO:

Junto al costo de combustible, los costos de mantenimiento son normalmente los costos más altos en una instalación con un motor a gas. Bajando y manteniendo estos costos al mínimo mejorarán el retorno de la inversión para el proyecto total con motor a gas.

Hay varios métodos disponibles que pueden mantener los costos bajos. Esto depende del propietario del equipo para tomar la mejor decisión de mantenimiento para sus productos. Las siguientes guías pueden ser útiles para tomar estas decisiones:

Seguir los intervalos de mantenimiento recomendados:

Aunque esta recomendación parece ser innecesaria, es a la larga el mejor camino para mantener los costos de mantenimiento al mínimo. La falla de una culata, pistón o turbo,

pueden ser frecuentemente resultado de la falta de seguir los intervalos de servicio recomendados en el manual de operación y mantenimiento; de otro lado, el sobre mantenimiento al motor, puede resultar en innecesarios costos de mantenimiento que no proveen de valor al motor.

Mantener la relación aire-combustible según especificaciones:

Además de seguir correctamente los intervalos de servicio, mantener la correcta relación aire-combustible en el motor es crítico para mantener los costos de mantenimiento bajos. Si el motor no es equipado de fábrica con un control de relación aire-combustible es importante que el propietario mantenga la relación aire-combustible dentro de los límites específicos para esa aplicación. Los siguientes items son algunos de los mayores efectos de inapropiada relación aire-combustible:

Incremento de temperaturas de escape.

Falla de encendido de los cilindros del motor, operación rugosa (craqueteo y sonido más grueso o ronco).

Capacidad pobre para aceptar carga adicional.

Excesiva detonación en el motor.

Cada uno de estos efectos incrementarán los costos del mantenimiento:

Corta vida de las válvulas debido a las altas temperaturas de las mismas.

Sistema de encendido y varillaje de control con desgaste prematuro debido a la dificultad de control del motor.

Problemas en el turbo y sistema de aire debido a excesivas paradas por calentamiento.

Daños mayores en pistones y camisas por la detonación excesiva.

Se necesitan ajustes en la relación aire-combustible más frecuentes en aplicaciones donde el poder calorífico del combustible, la temperatura del combustible y/o temperatura del aire son cambiantes. También, cuando el recurso combustible cambia, la relación aire-combustible debe ser verificada y ajustada para asegurar que el motor está regulado apropiadamente con el nuevo combustible.

Usar y mantener fluidos apropiados para el motor:

Muchas de las razones que incrementan los costos de mantenimiento en el tiempo, son debido a la selección de aceites de inferior calidad y mezclas de refrigerante no apropiadas para el motor. Los siguientes resultados son efectos de usar fluidos incorrectos:

Pegado de anillos y válvulas debido a inapropiada selección de aceite.

Falla del cartucho del turbo debido al carboncillo del aceite al apagar el motor.

Incremento de consumo de aceite debido al pulido en las paredes de las camisas.

Fuga por los sellos de la bomba de agua por inapropiados niveles de aditivos.

Picaduras en las camisas por pérdida de aditivo del refrigerante.

Pobre transferencia de calor del motor debido a inapropiada agua usada como base.

Picaduras en las válvulas debido a depósitos en la válvula y caras de los insertos.

Al usar fluidos de menor costo en el motor, los efectos (a la larga) en el motor son casi siempre en detrimento, como resultado se acorta la vida del motor y aumentan los costos de mantenimiento. Usando aceites y refrigerantes aceptables en el motor, normalmente, bajarán los costos totales de mantenimiento.

Otro camino para mantener los costos bajos es monitorear y mantener las composiciones de los fluidos en un motor. Esto se hace tomando muestras periódicamente de aceite del cárter y refrigerante de cada circuito de enfriamiento en el motor. Este procedimiento es altamente recomendado y es usado para muchas operaciones satisfactorias en el mundo.

También, y más importante es que los reportes necesitan ser analizados y actuar antes que cualquier fluido o motor falle. Los costos de muestreo y análisis son generalmente bajos, pero los costos más bajos de reparar un motor antes de una falla mayor, justifican grandemente los costos del muestreo. También, con experiencia, muchos propietarios son capaces de maximizar la vida de los aceites y refrigerantes, sin un mayor riesgo de falla, y pueden así mantener sus costos de fluidos al mínimo. Un análisis completo de los reportes, incluidas las tendencias gráficas para el desgaste de metales, oxidación y nitración son requeridos para obtener costos mínimos de fluidos y mantenimiento del motor.

Dar servicio a las bujías:

Mientras la mayoría de propietarios conocen el valor de la limpieza regular y verificación de la luz de sus bujías, muchas veces son requeridos otros mantenimientos en las bujías. El no dar el mantenimiento adecuado a las bujías puede ocasionar acortar la vida de la bujía, operación rugosa (sonido grueso) del motor e incremento de carga en el sistema de encendido.

Cuando las bujías son retiradas para su limpieza y calibración de luz, también es importante mantener la rosca de las bujías y la superficie de asiento en la culata. Limpiar los hilos en la culata así como en las bujías proveen un mejor agarre, mejorando la transferencia de calor de la bujía al agua refrigerante. Esto baja la temperatura de operación y puede incrementar la vida de las bujías.

También hay que recordar usar un nuevo sello empaquetadura cada vez que se retira la bujía para su limpieza. Esto ayudará a un sellado apropiado entre la culata y la bujía, proporcionando otro flujo mayor de calor desde la bujía hacia el interior de la culata al agua de enfriamiento.

Finalmente, se debe recordar que una limpieza apropiada y calibración adecuada de la bujía requiere menos energía de encendido desde el magneto o suministro electrónico de encendido. Esto significa que hay menos tensión eléctrica en el sistema de encendido que pueden permitir alargar la vida de los componentes del encendido.

Mantener el calibre de la bujía al nivel más pequeño posible:

El calibre de la bujía (luz entre electrodos) es un elemento crítico para la vida de la bujía. En general, calibre más grande deja descargar mayores voltajes e incrementa el desgaste de los electrodos en la bujía. Siempre que el calibre es reducida, la cantidad de voltaje requerido para la chispa es reducido y con esto el desgaste, por lo que la vida de la bujía se incrementa.

Sin embargo, calibres pequeños en la bujía pueden crear inestabilidad a cargas muy ligeras. En muchas aplicaciones de generadores, la estabilidad de carga es importante para poner en paralelo al generador con otro equipo. Con un calibre pequeño de la bujía, la mezcla aire-combustible en la cámara de combustión puede no ser encendida y el cilindro no trabaje. En este caso, los calibres estándar se deben mantener. En aplicaciones industriales o de compresión, la estabilidad con baja carga no es crítica, por eso la disminución del calibre puede permitir alargar la vida de la bujía y aminorar los costos.

Es posible reducir el calibre de la bujía ligeramente en cada limpieza y verificar si el desempeño del motor permanece aceptable. Si resulta un aumento en la vida de la bujía, entonces los costos de mantenimiento deberían ser menores.

Ajustar el ángulo de la mariposa del carburador para cada aplicación:

Para aplicaciones con carga constante de generadores o de compresión, el ajuste de la mariposa del acelerador puede alargar la vida del turbo y disminuir la temperatura de los múltiples. Esto es cierto en motores que usan carburador y turbo.

Si la mariposa está cerca de su posición abierta, a carga y velocidad nominal, el turbo no tendrá que crear la presión adicional del boost requerido para vencer la restricción en la mariposa. Esto puede aminorar la velocidad del turbo y permitir alargar la vida del mismo.

Un motor trabajando en aplicaciones de carga constante, con la mariposa del acelerador sólo parcialmente abierta incrementará el refuerzo del turbo y en general acortará la vida del turbo. Las temperaturas del colector de escape también se incrementarán, permitiendo reducir los límites de detonación en los cilindros.

Mantener la limpieza del motor durante los trabajos de mantenimiento:

Los motores a gas son similares a los motores Diesel, en que cualquier cantidad de limaduras que ingrese al motor, causa en los rodajes, anillos, metales, camisas y guías de válvula desgaste abrasivo. La limadura puede ser en forma de metal de una parte nueva del motor que no ha sido limpiada completamente, partículas extrañas que ingresan por una mala instalación o mantenimiento de los filtros de aire, combustible o

aceite, o suciedad de una superficie mal protegida durante una reparación en el campo.

El análisis de aceite y refrigerante pueden frecuentemente avisar si suciedad está entrando al motor, pero en ese punto algún daño en el metal o anillo puede haber ocurrido. Las horas de servicio para una reparación se acortan y los costos de mantenimiento crecen.

Es muy importante proteger ambos, el motor y los componentes de la suciedad y escorias durante cualquier trabajo de servicio. La protección puede ser en forma de toallas o trapos limpios puestos sobre cualquier superficie expuesta del motor, sin embargo, estas toallas muchas veces pueden causar más daño que bien si éstos no están limpios o si inadvertidamente se dejan en pasajes críticos del motor luego de la reparación.

Mientras el mantenimiento limpio es responsabilidad directa de la persona que realiza el mantenimiento, se recomienda que sean usadas cubiertas de protección para proteger el motor durante la reparación. También durante el primer arranque del motor, luego de un overhaul, deberían ser instalados pantallas en los sistemas de aceite, aire, combustible y refrigeración, para proteger el motor de partículas que pueden haberse quedado en los soportes de las líneas.

Proteger el motor en ambientes de baja temperatura:

Cuando la temperatura ambiente está bajo cero, la lubricación durante el arranque es reducida, resultando en incremento de rangos de desgaste de los metales y camisas. El efecto de

bajas temperaturas ambientes, puede ser reducido con el uso de calentadores de agua o de chaquetas de agua y permitiendo al motor calentarse completamente antes que se le aplique carga. Estas precauciones se deben tener en cuenta para motores a gas grandes. Aunque, los costos de encapsulados y calentadores pueden ser muy significativos, dependiendo de las condiciones de diseño, los efectos de reducción de costos de mantenimiento a la larga, normalmente es mayor que los costos de estos aparatos de protección.

Proteger el turbo durante la operación de mantenimiento:

Mientras los turbos están equipados en los modernos motores a gas para alcanzar requerimientos de bajas emisiones y consumo de combustible, el costo de mantenimiento del turbo puede ser significativo. Sin embargo, los costos de mantenimiento del turbo pueden ser manejados con cuidado apropiado y planeado.

Los siguientes puntos son algunas de las razones porque el turbo requiere mantenimiento más rápidamente que lo diseñado o esperado:

- Paradas repetidas de un turbo caliente sin lubricación continua.

- Mover el motor a mayores alturas de las que está especificado para el turbo.

- Inapropiado manipuleo del turbo durante la reparación.

- Periodos prolongados de operación a excesivas y altas presiones de refuerzo de aire de admisión.

Los siguientes puntos son caminos para prolongar la vida del turbo y bajar los costos de mantenimiento del mismo:

Proveer presión de lubricación al turbo después de cada parada de motor. Esta acción es estándar en los motores G3600 y está disponible como una opción en los G3500 y motores a gas pequeños.

Asegurarse siempre que el turbo esté especificado para la altura en la que está operando el motor. Grandes alturas de operación requieren más aire para que el motor mantenga la apropiada relación aire-combustible, lo cual significa que el turbo debe trabajar más para proveer mayor refuerzo de aire en el motor.

Tener cuidado de manipular adecuadamente los turbos durante la reparación. Cualquier golpe o rasguño a la superficie, o restos dejados en el turbo luego de la reparación, puede causar desgaste prematuro o falla durante la operación.

Los motores deben ser siempre operados dentro de los límites de diseño para cada sistema. Operación prolongada con carga o velocidad por encima de la especificada del motor, puede causar desgaste acelerado en las bocinas del turbo e impulsor, acortando la vida del mismo.

Aplicaciones a carga y velocidad parcial:

Algunos motores a gas trabajan continuamente a menor carga que la especificada. También, en ciertas aplicaciones industriales y de compresión, algunos motores a gas trabajan continuamente con cargas y velocidades que están por debajo de los niveles nominales.

En aplicaciones con carga reducida o velocidad reducida, la vida para una reparación se incrementa generalmente. La tabla 18 describe cómo pueden ocurrir estos incrementos.

Tabla 18.- Cambio en los intervalos de mantenimiento.

	Operación	Cambio en los intervalos para reparación esperados		
		Superior	En monoblock	General
1	Carga estándar y velocidad estándar	No cambio.	No cambio.	No cambio.
2	Carga reducida y velocidad estándar	Incremento. (Disminución del desgaste de válvulas y asientos por menores presiones en los cilindros).	Incremento. (Disminución del desgaste de anillos y camisas por las menores presiones en los cilindros).	No cambio.
3	Carga reducida y velocidad reducida	Incremento. (Disminución del desgaste de válvulas y asientos por menores presiones en los cilindros y movimiento de las válvulas).	Incremento. (Disminución del desgaste de metales y camisas por menores presiones en los cilindros y menor movimiento de partes).	No cambio.

NOTA:

Un incremento en la vida de la reparación depende de una instalación aceptable, siguiendo el programa de mantenimiento mencionado anteriormente, usando aceite, combustible y refrigerante adecuados y operando el motor dentro de los límites aceptables. Cuando ésta y otras condiciones apropiadas se consiguen, el incremento en la vida para el overhaul puede ser esperado cuando se trabaja a carga y velocidad reducida.

Estos incrementos son tendencias para aplicarlos en motores a gas trabajando con gas natural o de cabeza de pozo. Para aplicaciones con biogás, la velocidad y carga nominal son estándares, por lo tanto, estos incrementos no son aplicables.

CAPITULO VIII

COSTOS DE CONVERSION DE UN MOTOR DIESEL D3512 CONVERTIDO A GAS G3512

En este último capítulo veremos la conveniencia de convertir un motor que trabaja con combustible Diesel, para que trabaje con gas natural.

Para esto registraremos todos los costos que intervienen en el mantenimiento, tanto de mano de obra, como de repuestos.

Antes veremos las características técnicas del motor Diesel y luego las características técnicas con la que quedará una vez convertido a motor a gas.

8.1.- CARACTERISTICAS DEL MOTOR DIESEL D3512:

MARCA	CATERPILLAR
MODELO	D3512
SERIE	67Z01425
ARREGLO	1W-4217
NUMERO DE CILINDROS	12 en V a 60°
POTENCIA NOMINAL	1.005 kW
REVOLUCIONES	1.200 RPM
RELACION DE COMPRESION	13:1
VALVULAS POR CILINDRO	4
TIPO DE COMBUSTION	INYECCION DIRECTA
LUZ DE VALVULAS ADMISION	0,51 mm
LUZ DE VALVULAS DE ESCAPE	1,02 mm
DIAMETRO CILINDRO	170 mm
CARRERA	190 mm
DESPLAZAMIENTO	51,8 lt
ORDEN DE ENCENDIDO	1, 12, 9, 4, 5, 8, 11, 2, 3, 10, 7, 6
PRESION DE COMBUSTIBLE	476 kPa
PRESION DE ACEITE	441 kPa
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	242 lt/h

8.2.- CARACTERISTICAS DEL MOTOR A GAS G3512 (CONVERTIDO):

MARCA	:	CATERPILLAR
MODELO	:	G3512
SERIE	:	7SZ05490
ARREGLO	:	-----
NUMERO DE CILINDROS	:	12 en V a 60°
POTENCIA NOMINAL	:	750 kW
REVOLUCIONES	:	1.200 RPM
RELACION DE COMPRESION	:	8:1
VALVULAS POR CILINDRO	:	4
TIPO DE COMBUSTION	:	BUJIAS
LUZ DE VALVULAS ADMISION	:	0,51 mm
LUZ DE VALVULAS DE ESCAPE	:	1,572 mm
DIAMETRO CILINDRO	:	170 mm
CARRERA	:	190 mm
DESPLAZAMIENTO	:	51,8 lt
ORDEN DE ENCENDIDO	:	1, 12, 9, 4, 5, 8, 11, 2, 3, 10, 7, 6
PRESION DE COMBUSTIBLE	:	12.1 kPa
PRESION DE ACEITE	:	430 kPa
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	:	133.500 G/min

8.3.- EVALUACION ECONOMICA DE LA CONVERSION:

Los componentes que serán cambiados en el motor diesel, para que pueda trabajar con gas se muestran en la tabla 19 y el desgloce se muestra en las tablas del anexo. Estos componentes se considerarán como la inversión inicial en nuestros cálculos de costos, al cual le sumaremos los repuestos necesarios para realizar la reparación general del motor.

Luego, evaluaremos la conveniencia de la conversión del motor proyectando los costos de mantenimiento, que incluyen repuestos, mano de obra, aceites lubricantes y combustible, en 10 años, para luego calcular en Valor Actual Neto (VAN), para que al final se calcule el costo anual equivalente y los costos de generación de potencia y el costo de energía equivalente.

8.3.1.- COMPONENTES A SER CAMBIADOS:

Como se vió en el capítulo VI, en cuanto a las diferencias entre los motores Diesel y a gas, necesitaremos cambiar algunos componentes como el carburador, líneas de aire, bomba de agua auxiliar, líneas de agua auxiliar, magneto, transformadores, bujías, etc. En la tabla 19 se muestran los grupos de componentes a cambiarse, es decir, que no son compatibles entre el motor a gas y el Diesel y su respectivo costo.

Nota: En las tablas de este capítulo y del anexo, los puntos separan las unidades de los decimales y la coma separa los miles de los centenares, debido a que fueron insertados desde la hoja de cálculo Excel.

Tabla 19.- Cotización de componentes a cambiar.

ITEM	COMPONENTE	COSTO (US\$)
1	Líneas de aire	1,600.28
2	Control Eléctrico	7,458.45
3	Líneas de Gas	2,608.09
4	Líneas de los turboalimentadores	609.90
5	Sistema de encendido	6,114.71
6	Líneas de Agua	1,294.39
7	Líneas de Agua	995.13
8	Líneas de Agua	8,835.34
9	Panel de Instrumentos	1,506.22
10	Pistón	6,857.52
11	Bomba de agua auxiliar	1,372.10
12	Válvula reguladora de presión	745.96
13	Chaquetas del múltiple de escape	5,137.83
14	Interruptor magnético	111.55
15	Carburador	1,821.84
16	Turboalimentador	10,622.20
17	Válvula termostática	790.69
	TOTAL	58,482.20

8.3.2.- REPARACION GENERAL DEL MOTOR:

Para reducir gastos, la conversión del motor se debe realizar cuando se tenga que reparar totalmente el motor, por eso comparamos también los costos de una reparación general para el motor Diesel y para el motor a gas (Tablas 20 y 21).

Tabla 20.- Resumen de gastos de reparación general motor Diesel.

ITEM	COMPONENTE	COSTO (US\$)
1	Kit de empaquetaduras	3,169.19
2	Culata	7,765.08
3	Block	5,179.33
4	Pistón y biela	10,750.44
5	Sistema de combustible	2,924.95
6	Control del gobernador	907.26
7	Sistema de lubricación y bomba de aceite	167.11
8	Sistema de enfriamiento	5,441.30
9	Sistema Eléctrico	776.46
10	Indicadores y accesorios	1,931.24
11	Cárter	185.55
12	Mando del ventilador	193.21
13	Turboalimentador	3,323.84
14	Líneas y trampa de aire	6,597.31
	TOTAL	49,312.27

Tabla 21.- Resumen de gastos de reparación general motor a gas.

ITEM	COMPONENTE	COSTO
1	Kit de empaquetaduras	4,230.27
2	Culata	7,765.08
3	Block	5,179.33
4	Pistón y biela	10,854.96
5	Sistema de combustible	629.14
6	Control del gobernador	907.26
7	Sistema de lubricación y bomba de aceite	167.11
8	Sistema de enfriamiento	5,441.30
9	Sistema Eléctrico	776.46
10	Indicadores y accesorios	1,931.24
11	Cárter	131.99
12	Mando del ventilador	193.21
13	Turboalimentador	10,304.50
14	Líneas y trampa de aire	6,650.87
	TOTAL	55,162.72

8.3.3.- MANTENIMIENTOS PROGRAMADOS:

Otro costo que hay que tener en cuenta en la evaluación económica, son los costos de los mantenimientos programados periódicamente, los cuales se muestran en las tablas 22 y 23 para cada motor respectivamente.

Tabla 22.- Costos de mantenimiento para el motor Diesel.

TIPO DE MANTENIMIENTO	REPUESTOS (US\$)	MANO OBRA (US\$)	TOTAL (US\$)
1.000 h	445	50	495
2.000 h	445	50	495
4.000 h	510	125	635
6.000 h	1,765	675	2,440
12.000 h	25,388	2,660	28,048
24.000 h	49,312	8,600	57,912

Tabla 23.- Costos de mantenimiento para el motor gas.

TIPO DE MANTENIMIENTO	REPUESTOS (US\$)	MANO OBRA (US\$)	TOTAL (US\$)
1.000 h	260	50	310
2.000 h	260	50	310
4.000 h	260	125	385
8.000 h	1,478	675	2,153
16.000 h	13,908	2,660	16,568
32.000 h	55,163	8,600	63,763

8.3.4.-CONSIDERACIONES PARA EL ANALISIS ECONOMICO:

Los datos que tomaremos en cuenta para nuestro estudio, se muestran en la tabla 24.

Tabla 24.- Cuadro económico comparativo entre el motor Diesel y a gas.

		DIESEL	GAS
	UNIDAD	1 x 3512	1 x G3512
POTENCIA BASE REQUERIDA	bkW	700	700
Número de motores necesarios		1	1
Potencia Total Disponible	kW	1,005	750
Potencia Unitaria Continua	kW	1,005	750
Altura de trabajo	m snm	1,000	1,000
Horas de Operación por año	horas	7,920	7,920
Precio del combustible	US\$/gal ó US\$/m ³	1.00	0.00
Consumo de Combustible	gal/hr ó G/min	71.70	133,500
Aceite		CF4 15W40	NGEO 40
Precio del aceite	US\$/gal	7.8	7.3
Capacidad del cárter	gal	83.0	83.0
Tarifa de mano de obra	US\$/h	25.0	25.0
Inversión Inicial (Overhaul vs Conversión)	US\$	49,312	100,072

8.3.5.- PROYECCION DE LOS MANTENIMIENTOS:

Para poder cuantificar los costos de los mantenimientos programados en los próximos 10 años, calculamos la cantidad de servicios programados que se efectuarán en cada año, es decir, dividimos las horas acumuladas en cada año, entre las horas correspondientes al servicio, y luego restamos los servicios de mayor cantidad de horas, por ejemplo, en el primer año:

N° de servicios de 6.000 hrs = $7.920 / 6.000 = 1$ servicio

N° de servicios de 4.000 hrs = $7.920/4.000 - N°$ de servicios de 6.000 hrs = 1 servicio

N° de servicios de 2.000 hrs = $7.920/2.000 - N°$ de servicios de 6.000 y 4.000 hrs = 1 servicio

N° de servicios de 1.000 hrs = $7.920/1.000 - N°$ de servicios de 6.000, 4.000 y 2.000 hrs = 4 servicio

El resumen de la cantidad de mantenimientos programados se muestran en las tablas 25 y 26 para el motor Diesel y a gas, respectivamente.

Tabla 25.- Cálculo de los mantenimientos programados por año del motor Diesel.

Horas Acumuladas	7,920	15,840	23,760	31,680	39,600	47,520	55,440	63,360	71,280	79,200
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cambios aceite	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8
1,000	4	4	3	4	3	3	4	4	3	3
2,000	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1
4,000	1	1	2	1	1	2	1	1	2	2
6,000	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
12,000	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
24,000	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1

Tabla 26.- Cálculo de los mantenimientos programados por año del motor a gas.

Horas Acumuladas	7,920	15,840	23,760	31,680	39,600	47,520	55,440	63,360	71,280	79,200
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1000	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
2000	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8000	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
16000	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
32000	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0

8.3.6.- RESULTADOS ANUALIZADOS:

Los costos de mantenimientos anualizados, se calculan multiplicando la cantidad de servicios anuales por el costo de cada servicio, así para el primer año, tenemos:

Costo total servicio 1.000 hrs = 4 servicio x US\$ 495 = US\$ 1.978

Costo total servicio 2.000 hrs = 1 servicio x US\$ 495 = US\$ 495

Costo total servicio 4.000 hrs = 1 servicio x US\$ 635 = US\$ 635

Costo total servicio 6.000 hrs = 1 servicio x US\$ 2.440 = US\$ 2.440

El resumen proyectado a 10 años tanto para el motor diesel y el motor a gas, se muestra en las tablas 27 y 28

Tabla 27.- Cálculo de los costos de mantenimiento programado por año del motor Diesel.

Horas Acumuladas	7,920	15,840	23,760	31,680	39,600	47,520	55,440	63,360	71,280	79,200
Intervalo/ Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cambio aceite	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8
1,000	1,978	1,978	1,484	1,978	1,484	1,484	1,978	1,978	1,484	1,484
2,000	495	989	989	495	989	989	495	989	989	495
4,000	635	635	1,271	635	635	1,271	635	635	1,271	1,271
6,000	2,440	2,440	2,440	2,440	2,440	2,440	2,440	0	2,440	2,440
12,000	0	0	28,048	0	28,048	0	0	28,048	0	0
24,000	0	0	0	57,912	0	0	57,912	0	0	57,912
Total Anual US\$	5,549	6,043	34,232	63,461	33,596	6,184	63,461	31,651	6,184	63,602

Tabla 28.- Cálculo de los costos de mantenimiento programado por año del motor a gas.

Horas Acumuladas	7,920	15,840	23,760	31,680	39,600	47,520	55,440	63,360	71,280	79,200
Intervalo/ Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cambio aceite	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8
1,000	1,239	1,239	1,239	1,239	1,239	1,239	1,239	1,239	1,239	1,239
2,000	619	619	619	619	619	619	619	619	619	619
4,000	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385
8,000	0	2,153	0	2,153	0	2,153	0	2,153	0	2,153
16,000	0	0	16,568	0	0	0	16,568	0	0	0
32,000	0	0	0	0	63,763	0	0	0	63,763	0
Total Anual US\$	2,243	4,396	18,812	4,396	66,006	4,396	18,812	4,396	66,006	4,396

Teniendo los costos de mantenimiento anual, calculamos los gastos de combustible. Para el motor Diesel tendremos:

Costo combustible anual = horas de trabajo x costo Diesel x consumo combustible x potencia efectiva / potencia nominal

$$\text{Costo combustible anual} = 7.920 \times 1 \times 71,7 \times 700 / 750$$

$$\text{Costo combustible anual} = \text{US\$ } 395.527$$

Los costos por lubricante se calcula de la siguiente manera (para el primer año):

Costo de lubricantes = N° de cambios x capacidad del cárter x costo del aceite

$$\text{Costo de lubricantes} = 7 \times 83 \times 7,8 = \text{US\$ } 4.532$$

El resumen proyectado a 10 años se presenta en las tablas 29 y 30 respectivamente, considerando como inversión inicial en el caso del Diesel, el costo por reparación general y en el caso del motor a gas el costo de la reparación general más los componentes a ser cambiados.

Tabla 29.- Costo anual de operación del motor Diesel.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión Inicial	49,312										
Mantenimiento		5,549	6,043	34,232	63,461	33,596	6,184	63,461	31,651	6,184	63,602
Combustible		395,527	395,527	395,527	395,527	395,527	395,527	395,527	395,527	395,527	395,527
Lubricante		4,532	5,179	5,179	5,179	5,179	5,179	5,179	5,179	5,179	5,179
TOTAL	49,312	405,608	406,750	434,938	464,167	434,303	406,890	464,167	432,357	406,890	464,308

Tabla 30.- Costo anual de operación del motor a gas.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión Inicial	100,072										
Mantenimiento		2,243	4,396	18,812	4,396	66,006	4,396	18,812	4,396	66,006	4,396
Combustible		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lubricante		4,241	4,847	4,847	4,847	4,847	4,847	4,847	4,847	4,847	4,847
TOTAL	100,072	6,484	9,243	23,659	9,243	70,853	9,243	23,659	9,243	70,853	9,243

8.3.7.- COSTO ANUAL EQUIVALENTE:

Por último, calculamos para ambos motores el costo anual equivalente, el costo por potencia producida y el costo de energía, mostrándose los resultados en las tablas 31 y 32.

Tabla 31.- Resultados del costo anual equivalente del motor Diesel.

COSTO ANUAL EQUIVALENTE	US\$	438,166
COSTO ANUAL EQUIVALENTE POR kW	US\$/kW	626
COSTO ANUAL EQUIVALENTE POR kW.h	US\$/(kW.h)	0.08

Tabla 32.- Resultados del costo anual equivalente del motor a gas.

COSTO ANUAL EQUIVALENTE	US\$	41,266
COSTO ANUAL EQUIVALENTE POR kW	US\$/kW	59
COSTO ANUAL EQUIVALENTE POR kW.h	US\$/(kW.h)	0.01

CONCLUSIONES

Económicamente observamos que convirtiendo un motor Diesel D3512 en un motor a gas G3512, tendremos un ahorro equivalente anual de U\$ 396.899, con una reducción del costo de energía del 1.062%, debido a que se empleará como combustible el gas natural que en la actualidad de está quemando al medio ambiente.

Se ahorrará 1.099 galones de combustible Diesel diariamente, que representa 55 barriles de petróleo crudo que se podrá vender, con lo que las utilidades aumentarán en US\$ 1.100 diarios, por la venta adicional de petróleo crudo que no se destilará en combustible Diesel

Se tendrá menos emisiones de gases tóxicos al medio ambiente.

Se alargará la vida del motor.

Se tendrá un motor de tecnología moderna, controlado electrónicamente, que aumentará la disponibilidad de energía en los pozos.

Se tendrá una reducción de potencia disponible del motor de 34% (de 1.005 kW con Diesel a 750 kW con gas) , es por eso, que se debe evaluar también la necesidad de potencia requerida, antes de tomar la decisión de convertir el motor Diesel a gas.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Heywood, Jhon B., "Internal combustion engine fundamentals", New York, 1988.
- 2.- Engine manufactures association, "Lubrication oils data book". 1995.
- 3.- M. S. Jovaj, "Motores de automóvil", Editorial MIR.1982.
- 4.- Caterpillar, "Gas engine application and installation guide", LEKQ2368.1992.
- 5.- Caterpillar, "G3500 gas engine performance", LEBQ2023. 1995.
- 6.- Caterpillar, "Coolant and your engine", SEBD0970. 1992.
- 7.- Caterpillar, "Maintenance management schedules", SEBU6127.1993.

ANEXOS

Tabla A1.- Despiece de repuestos a cambiar en el grupo de líneas de aire.

ITEM	CANT	PARTE	PARTE ANTIGUO	DESCRIPCION	V. VENTA UNIT.	V. VENTA TOTAL
1	6	7W-6492		Tapón	2.35	14.10
2	1	4P-8351		Adaptador	528.75	528.75
3	1	9S-4185		Tapón	6.88	6.88
4	1	3K-0360		Sello	0.57	0.57
5	1	9S-4181		Tapón	10.54	10.54
6	1	9S-4182		Tapón	4.54	4.54
7	1	140-0463		Plancha	1,017.98	1,017.98
8	36	0L-1143		Perno	0.47	16.92

VALOR VENTA REPUESTOS

US\$

1,600.28

Tabla A2.- Despiece de repuestos a cambiar en el grupo de líneas de gas.

ITEM	CANT	PARTE	PARTE ANTIGUO	DESCRIPCION	V. VENTA UNIT.	V. VENTA TOTAL
1	1	7E-8240		Tubería	175.59	175.59
2	1	7E-8192		Válvula	501.91	501.91
3	2	8C-5098		Unión	222.22	444.44
4	3	030-7972		Codo	9.59	28.77
5	2	001-7004		Unión	3.43	6.86
6	2	7E-8239		Tubería	80.85	161.70
7	1	003-8581		Tee	11.96	11.96
8	1	7E-8238		Tubería	37.30	37.30
9	1	9M-6522		Adaptador	2.36	2.36
10	1	7E-8236		Tubería	52.77	52.77
11	2	0S-1594		Perno	0.17	0.34
12	8	5M-2894		Aranadela	0.17	1.36
13	2	9S-8752		Tuerca	0.12	0.24
14	1	7E-8241		Tubería	346.63	346.63
15	1	132-5545		Tubería	31.80	31.80
16	2	3P-9847		Abrazadera	9.96	19.92
17	2	9M-8406		Seguro	3.09	6.18
18	1	7E-8237		Tubería	52.77	52.77
19	4	0S-1625		Perno	1.31	5.24
20	8	5P-8247		Arandela	0.52	4.16
21	4	4K-0367		Tuerca	0.43	1.72
22	1	0S-1585		Perno	0.50	0.50
23	1	132-5542		Cartela	76.87	76.87
24	2	107-8505		Empaquetadura	15.16	30.32
25	1	132-5544		Tubería	151.77	151.77
26	1	3N-2451		Acople	120.06	120.06
27	2	5P-8245		Arandela	0.24	0.48
28	1	1F-7958		Tuerca	0.23	0.23
29	1	5P-4900		Codo	7.52	7.52
30	1	7E-8235		Empaquetadura	2.88	2.88
31	4	1A-2029		Perno	0.20	0.80
32	1	7E-8225		Soporte	322.64	322.64

VALOR VENTA REPUESTOS	US\$	2,608.09
IMPUESTO GRAL A LAS VENTAS	US\$	
PRECIO DE VENTA CONTADO	US\$	2,608.09

Tabla A3.- Despiece de repuestos a cambiar en el grupo de líneas del turboalimentador.

ITEM	CANT	PARTE	PARTE ANTIGUO	DESCRIPCION	V. VENTA UNIT.	V. VENTA TOTAL
1	1	030-7949		Codo	9.68	9.68
2	2	2P-7636		Conector	3.69	7.38
3	2	8L-2786		Sello	2.50	5.00
4	2	184-3232	105-4296	Manguera	38.67	77.34
5	1	5P-4900		Codo	7.52	7.52
6	4	5P-9890		Sello	5.05	20.20
7	2	4P-0692		Abrazadera	10.47	20.94
8	4	8S-9191		Perno	0.72	2.88
9	2	0S-1608		Perno	0.69	1.38
10	2	6I-0804		Adaptador	55.50	111.00
11	1	0L-2070		Perno	0.43	0.43
12	2	3B-1915		Perno	0.24	0.48
13	2	9Y-5814		Codo	69.50	139.00
14	4	0S-1590		Perno	0.34	1.36
15	1	121-7736		Tubería	47.85	47.85
16	1	131-1462		Tubería	37.24	37.24
17	1	131-0483		Tubería	37.24	37.24
18	4	8T-4896		Arandela	0.16	0.64
19	4	4W-2109		Seguro	5.36	21.44
20	2	131-0484		Adaptador	30.45	60.90

VALOR VENTA REPUESTOS	US\$	609.90
IMPUESTO GRAL A LAS VENTAS	US\$	
PRECIO DE VENTA CONTADO	US\$	----- 609.90

Tabla A4.- Despiece de repuestos a cambiar en el grupo de líneas de agua.

ITEM	CANT	PARTE	PARTE ANTIGUO	DESCRIPCION	V. VENTA UNIT.	V. VENTA TOTAL
1	1	7E-9075		Tubería	502.86	502.86
2	2	8T-6765		Tapón	1.33	2.66
3	1	7E-9584		Codo	326.54	326.54
4	1	6V-4357		Cartela	15.43	15.43
5	1	7C-3043		Codo	412.67	412.67
6	1	0S-1595		Perno	0.41	0.41
7	2	5P-8245		Arandela	0.24	0.48
8	1	1F-7958		Tuerca	0.23	0.23
9	1	6V-4356		Seguro	15.11	15.11
10	1	110-4341		Cartela	10.53	10.53
11	3	1D-4706		Perno	1.07	3.21
12	1	5B-2638		Perno	0.95	0.95
13	1	7L-7524		Perno	1.83	1.83
14	1	5M-2894		Arandela	0.17	0.17
15	1	7F-3425		Tornillo	1.31	1.31

VALOR VENTA REPUESTOS	US\$	1,294.39
IMPUESTO GRAL A LAS VENTAS	US\$	
PRECIO DE VENTA CONTADO	US\$	----- 1,294.39

Tabla A5.- Despiece de repuestos a cambiar en el grupo de líneas de agua.

ITEM	CANT	PARTE	PARTE ANTIGUO	DESCRIPCION	V. VENTA UNIT.	V. VENTA TOTAL
1	3	7L-4773		Sello	1.36	4.08
2	1	7N-3368		Empaquetadura	2.46	2.46
3	1	7E-6761		Carcaza	152.04	152.04
4	7	0S-1594		Perno	0.17	1.19
5	2	127-3464		Adaptador	46.71	93.42
6	1	2W-7977		Tubería	45.58	45.58
7	1	001-7004		Conector	3.43	3.43
8	1	7C-3917		Tubería	39.30	39.30
9	1	006-2325		Codo	7.90	7.90
10	1	8S-4950		Tapa	1.72	1.72
11	2	7H-7055		Seguro	3.01	6.02
12	1	6S-2231		Cruceta	12.58	12.58
13	1	140-9407		Tubería	30.94	30.94
14	1	140-9406		Tubería	30.94	30.94
15	1	116-2392		Tubería	24.13	24.13
16	1	116-2394		Tubería	30.33	30.33
17	1	140-9411		Tubería	34.11	34.11
18	1	003-8581		Tee	11.96	11.96
19	1	001-7042		Codo	18.37	18.37
20	1	5H-0275		Tuerca	1.92	1.92
21	1	030-8145		Reducción	2.00	2.00
22	1	143-6857		Tubería	27.54	27.54
23	1	030-7951		Codo	21.94	21.94
24	1	7E-6762		Encaje	45.60	45.60
25	2	2N-1288		Encaje	6.11	12.22
26	1	090-3000		Codo	13.09	13.09
27	1	140-9409		Tubería	32.23	32.23
28	1	140-9410		Tubería	32.23	32.23
29	2	8M-0755		Conector	1.86	3.72
30	4	7N-7878		Cubierta	11.29	45.16
31	4	8N-0788		Cubierta	16.07	64.28
32	16	5M-2894		Arandela	0.17	2.72
33	16	0S-1594		Perno	0.17	2.72
34	1	5P-7701		Sello	4.01	4.01
35	1	137-7394		Tubería	46.90	46.90
36	1	143-6858		Tubería	24.87	24.87
37	2	030-8110		Conector	14.07	28.14
38	2	6S-5693		Tee	11.81	23.62
39	2	1P-1441		Tuerca	1.17	2.34
40	2	030-8144		Reducción	1.29	2.58
41	2	061-9463		Conector	2.40	4.80

VALOR VENTA REPUESTOS	US\$	995.13
IMPUESTO GRAL A LAS VENTAS	US\$	
PRECIO DE VENTA CONTADO	US\$	995.13

Tabla A6.- Despiece de repuestos a cambiar en el grupo de líneas de agua

ITEM	CANT	PARTE	PARTE ANTIGUO	DESCRIPCION	V. VENTA UNIT.	V. VENTA TOTAL
1	2	7J-4026		Codo	6.43	12.86
2	2	6K-1972		Encaje	3.64	7.28
3	2	067-6495		Codo	3.45	6.90
4	1	124-0174		Seguro	4.96	4.96
5	1	135-0790		Tubería	130.09	130.09
6	1	7W-7970		Tubería	244.00	244.00
7	1	134-5961		Tubería	261.21	261.21
8	1	7W-3448		Codo	148.76	148.76
9	1	7W-3297		Codo	166.56	166.56
10	1	7W-1446		Codo	152.39	152.39
11	2	1A-5964		Perno	0.81	1.62
12	5	0S-1594		Perno	0.17	0.85
13	4	8T-6765		Tapón	1.33	5.32
14	4	0S-1591		Perno	0.29	1.16
15	5	9S-8752		Tuerca	0.12	0.60
16	6	8T-2657		Articulación	182.41	1,094.46
17	1	5N-0408		Plancha	39.62	39.62
18	7	0S-1619		Perno	0.56	3.92
19	1	3H-5788		Espaciador	23.38	23.38
20	2	1A-2029		Perno	0.20	0.40
21	4	5M-2894		Arandela	0.17	0.68
22	3	1S-2067		Seguro	5.25	15.75
23	1	9Y-3108		Arandela	10.87	10.87
24	1	130-7224		Adaptador	106.04	106.04
25	1	9S-4185		Tapón	6.88	6.88
26	1	8T-6761		Tapón	7.03	7.03
27	3	8T-6765		Tapón	1.33	3.99
28	1	6V-6609		Sello	0.67	0.67
29	1	8N-7641		Tubería	112.97	112.97
30	6	5M-2894		Arandela	0.17	1.02
31	2	5P-8245		Arandela	0.24	0.48
32	1	8N-8535		Orificio	97.00	97.00
33	2	8N-8524		Codo	133.09	266.18
34	2	9M-4897		Adaptador	49.25	98.50
35	2	4B-8407		Empaquetadura	0.76	1.52
36	8	0S-1590		Perno	0.34	2.72
37	8	0S-1591		Perno	0.29	2.32
38	8	0S-1594		Perno	0.17	1.36
39	8	0S-1571		Perno	0.34	2.72
40	2	2N-8329		Brida	39.35	78.70
41	8	0S-1588		Perno	0.23	1.84
42	16	8S-9191		Perno	0.72	11.52
43	4	0L-1352		Perno	0.60	2.40
44	1	0S-1594		Perno	0.17	0.17
45	1	7S-8420		Cubierta	73.98	73.98
46	1	120-7420		Adaptador	723.59	723.59
47	1	8T-6765		Tapón	1.33	1.33
48	1	6V-6609		Sello	0.67	0.67

ITEM	CANT	PARTE	PARTE ANTIGUO	DESCRIPCION	V. VENTA UNIT.	V. VENTA TOTAL
49	1	9S-4185		Tapón	6.88	6.88
50	2	4P-3897		Múltiple	556.94	1,113.88
51	2	9S-4181		Tapón	10.54	21.08
52	2	8T-6761		Tapón	7.03	14.06
53	2	8T-6765		Tapón	1.33	2.66
54	1	111-8277		Múltiple	574.55	574.55
55	1	4P-3898		Múltiple	645.72	645.72
56	4	8T-6762		Tapón	2.19	8.76
57	18	0S-1618		Perno	0.13	2.34
58	2	2B-2695		Perno	0.12	0.24
59	1	111-8276		Múltiple	436.85	436.85
60	9	8N-1268		Cartela	23.84	214.56
61	2	9S-4185		Tapón	6.88	13.76
62	1	9S-4182		Tapón	4.54	4.54
63	4	4B-3388		Perno	0.13	0.52
64	1	8N-1989		Tubería	99.85	99.85
65	4	2A-4639		Perno	0.25	1.00
66	1	8N-0386		Brida	74.14	74.14
67	2	1A-2029		Perno	0.20	0.40
68	1	1N-4087		Codo	519.85	519.85
69	2	6H-6698		Cubierta	30.74	61.48
70	2	0S-1619		Perno	0.56	1.12
71	1	7W-0900		Codo	266.47	266.47
72	2	136-6216		Cartela	40.85	81.70
73	2	7N-2539		Manguera	19.48	38.96
74	1	0T-0055		Perno	0.76	0.76
75	1	154-1616		Múltiple	689.97	689.97

VALOR VENTA REPUESTOS US\$ 8,835.34
IMPUESTO GRAL A LAS VENTAS US\$

PRECIO DE VENTA CONTADO US\$ 8,835.34

Tabla A7.- Despiece de repuestos a cambiar en el grupo del panel de instrumentos.

ITEM	CANT	PARTE	PARTE ANTIGUO	DESCRIPCION	V. VENTA UNIT.	V. VENTA TOTAL
1	1	120-5296		Panel	518.70	518.70
2	1	4P-8134		Seguro	2.67	2.67
3	1	7W-2355		Tapón	4.30	4.30
4	8	7W-2353		Tapón	4.12	32.96
5	1	1L-6561		Botón	2.35	2.35
6	2	4P-7581		Seguro	2.58	5.16
7	2	4B-4278		Arandela	0.11	0.22
8	3	6V-8801		Tuerca	0.13	0.39
9	4	121-0816		Armadura	7.49	29.96
10	4	121-0817		Empaquetadura	3.28	13.12
11	8	7S-1197		Tornillo	0.35	2.80
12	8	3B-4501		Arandela de presión	0.03	0.24
13	8	6D-5801		Tuerca	0.27	2.16
14	2	4P-1539		Manguito	19.00	38.00
15	2	104-3651		Arandela de presión	1.41	2.82
16	2	110-6170		Manguito	2.48	4.96
17	1	4S-5719		Espaciador	7.92	7.92
18	3	8L-8413		Prescinto	0.19	0.57
19	2	6V-3987		Sello	2.80	5.60
20	1	123-9049		Plancha	15.22	15.22
21	2	2N-3476		Tornillo	0.35	0.70
22	4	4B-4274		Arandela	0.09	0.36
23	4	7D-6922		Tuerca	0.05	0.20
24	3	1W-8129		Soporte	121.44	364.32
25	1	121-0820		Cartela	364.13	364.13
26	4	7B-8167		Perno	0.12	0.48
27	4	5P-0537		Arandela	0.15	0.60
28	4	2W-8604		Arandela	1.29	5.16
29	4	9S-8750		Tuerca	0.08	0.32
30	6	0T-0055		Perno	0.76	4.56
31	1	121-0818		Cartela	71.75	71.75
32	4	5P-1075		Arandela	0.28	1.12
33	4	0S-1588		Perno	0.23	0.92
34	4	5S-7383		Perno	0.37	1.48

VALOR VENTA REPUESTOS	US\$	1,506.22
IMPUESTO GRAL A LAS VENTAS	US\$	
PRECIO DE VENTA CONTADO	US\$	1,506.22

Tabla A8.- Despiece de repuestos a cambiar en el grupo de pistón y biela.

ITEM	CANT	PARTE	PARTE ANTIGUO	DESCRIPCION	V. VENTA UNIT.	V. VENTA TOTAL
1	12	134-3802		Pistón	468.14	5,617.68
2	12	7E-7581		Anillo	34.44	413.28
3	12	8N-1234		Anillo	34.44	413.28
4	12	7W-2221		Anillo	34.44	413.28

VALOR VENTA REPUESTOS US\$ 6,857.52
 IMPUESTO GRAL A LAS VENTA US\$

PRECIO DE VENTA CONTADO US\$ 6,857.52

Tabla A9.- Despiece de repuestos a cambiar en el grupo de bomba de agua auxiliar.

ITEM	CANT	PARTE	PARTE ANTIGUO	DESCRIPCION	V. VENTA UNIT.	V. VENTA TOTAL
1	1	3B-8453		Sello	1.02	1.02
2	1	1T-0765		Perno	1.99	1.99
3	1	1T-0132		Sello	3.62	3.62
4	1	5N-1940		Empaquetadura	1.60	1.60
5	1	5N-1939		Cubierta	20.64	20.64
6	7	0S-1594		Perno	0.17	1.19
7	1	7E-9781		Bomba	1,342.04	1,342.04

VALOR VENTA REPUESTOS US\$ 1,372.10
 IMPUESTO GRAL A LAS VENTA US\$

PRECIO DE VENTA CONTADO US\$ 1,372.10

Tabla A10.- Despiece de repuestos a cambiar en el grupo de la válvula reguladora de presión de gas.

ITEM	CANT	PARTE	PARTE ANTIGUO	DESCRIPCION	V. VENTA UNIT.	V. VENTA TOTAL
1	1	9Y-9089		Regulador	596.42	596.42
2	4	7C-3095		Termostato	35.68	142.72
3	1	3J-5389		Tapón	3.00	3.00
4	1	7N-4927		Empaquetadura	3.82	3.82

VALOR VENTA REPUESTOS US\$ 745.96
 IMPUESTO GRAL A LAS VENTA US\$

PRECIO DE VENTA CONTADO US\$ 745.96

Tabla A11.- Despiece de repuestos a cambiar en el grupo de las chaquetas del múltiple de escape.

ITEM	CANT	PARTE	PARTE ANTIGUO	DESCRIPCION	V. VENTA UNIT.	V. VENTA TOTAL
1	2	148-3472		Chaqueta	471.11	942.22
2	2	148-3473		Chaqueta	471.11	942.22
3	1	148-3474		Chaqueta	375.67	375.67
4	1	148-3475		Chaqueta	363.00	363.00
5	1	148-3476		Chaqueta	311.37	311.37
6	1	149-9913		Chaqueta	443.62	443.62
7	1	149-9912		Chaqueta	438.57	438.57
8	2	148-3478		Chaqueta	656.93	1,313.86
9	5	5P-6025		Alambre	1.46	7.30

VALOR VENTA REPUESTOS US\$ 5,137.83
 IMPUESTO GRAL A LAS VENTA US\$

PRECIO DE VENTA CONTADO US\$ 5,137.83

Tabla A12.- Despiece de repuestos a cambiar en el grupo de las chaquetas del interruptor magnético.

ITEM	CANT	PARTE	PARTE ANTIGUO	DESCRIPCION	V. VENTA UNIT.	V. VENTA TOTAL
1	1	3E-0075		Interruptor	53.96	53.96
2	2	186-3736	8T-8730	Conector	0.64	1.28
3	1	3E-0075		Interruptor	53.96	53.96
4	1	155-2270		Conector	2.35	2.35

VALOR VENTA REPUESTOS US\$ 111.55
 IMPUESTO GRAL A LAS VENT/ US\$

PRECIO DE VENTA CONTADO US\$ 111.55

Tabla A13.- Despiece de repuestos a cambiar en el grupo del carburador.

ITEM	CANT	PARTE	PARTE ANTIGUO	DESCRIPCION	V. VENTA UNIT.	V. VENTA TOTAL
1	6	9X-8874		Perno	0.83	4.98
2	6	5P-8245		Arandela	0.24	1.44
3	2	4W-9765		Empaquetadura	3.58	7.16
4	1	4B-3388		Perno	0.13	0.13
5	1	9M-1974		Arandela	0.16	0.16
6	1	121-7550		Adaptador	135.57	135.57
7	1	7E-9201		Carburador	1,672.40	1,672.40

VALOR VENTA REPUESTOS US\$ 1,821.84
 IMPUESTO GRAL A LAS VENTAS US\$

PRECIO DE VENTA CONTADO US\$ 1,821.84

Tabla A14.- Despiece de repuestos a cambiar en el grupo del turboalimentador.

ITEM	CANT	PARTE	PARTE ANTIGUO	DESCRIPCION	V. VENTA UNIT.	V. VENTA TOTAL
1	2	121-5736		Empaquetadura	6.13	12.26
2	8	2N-2765		Perno	3.39	27.12
3	4	4W-1478		Sello	68.71	274.84
4	2	121-7529		Acople	176.49	352.98
5	8	168-7800		Arandela de presión	1.21	9.68
6	2	134-6704		Turboalimentador	4,972.66	9,945.32

VALOR VENTA REPUESTOS	US\$	10,622.20
IMPUESTO GRAL A LAS VENTAS	US\$	

PRECIO DE VENTA CONTADO	US\$	10,622.20

Tabla A15.- Despiece de repuestos a cambiar en el grupo de la válvula termostática.

ITEM	CANT	PARTE	PARTE ANTIGUO	DESCRIPCION	V. VENTA UNIT.	V. VENTA TOTAL
1	1	7W-1493		Soporte	141.22	141.22
2	3	0S-1594		Perno	0.17	0.51
3	6	5M-2894		Arandela	0.17	1.02
4	3	0L-2070		Perno	0.43	1.29
5	4	9S-8752		Tuerca	0.12	0.48
6	1	0S-1571		Perno	0.34	0.34
7	1	7W-1497		Válvula	645.83	645.83

VALOR VENTA REPUESTOS	US\$	790.69
IMPUESTO GRAL A LAS VENTAS	US\$	

PRECIO DE VENTA CONTADO	US\$	790.69

Tabla A16.- Despiece de repuestos para la reparación general del motor diesel.

ITEM	DESCRIPCION	N° PARTE	CTD.	P.U.	TOTAL	GRUPO	SISTEMA
	KIT DE EMPAQUETADURAS				4,230.27		
1	Kit de empaquetaduras de culatas	171-4117	1	1,687.39	1,687.39	1000	Motor
2	Kit de empaquetaduras de turbo	9X-8601	1	404.61	404.61	1000	Motor
3	Kit para camisas	6V3774	12	16.34	196.08	1000	Motor
4	Kit para el post-enfriador	9X-6591	1	202.72	202.72	1000	Motor
5	Kit para parte inferior del block	178-2977	1	337.91	337.91	1000	Motor
6	Kit de empaquetaduras	118-8102	1	195.79	195.79	1000	Motor
7	Kit para el enfriador de aceite	118-7859	1	296.18	296.18	1000	Motor
8	Kit de instalación de bomba de agua	196-0237	1	68.56	68.56	1000	Motor
9	Kit para bomba de aceite	118-7860	1	123.70	123.70	1000	Motor
10	Kit para bomba de agua auxiliar	109-5381	1	66.80	66.80	1000	Motor
11	Kit de reparación de bomba de agua	190-8921	1	379.08	379.08	1000	Motor
12	Kit frontal del block	118-7855	1	271.45	271.45	1000	Motor
	CULATA				7,765.08		
13	Válvula escape	121-9839	24	45.98	1,103.52	1100	Culata
14	Guía de válvula	133-9306	48	10.92	524.16	1100	Culata
15	Asiento de válvula de escape	131-4340	24	31.27	750.48	1100	Culata
16	Rotador	133-3814	48	8.50	408.00	1100	Culata
17	Asiento de válvula de admisión	136-9630	24	18.40	441.60	1100	Culata
18	Seguro	2A4429	96	0.20	19.20	1100	Culata
19	Arandela	2W2662	48	3.57	171.36	1100	Culata
20	Válvula de admisión	7E4609	24	46.28	1,110.72	1100	Culata
21	Espiga	7N1902	24	10.86	260.64	1100	Culata
22	Resorte	7N1903	48	4.38	210.24	1100	Culata
23	Resorte	7N1904	48	8.05	386.40	1100	Culata
24	Levantador	132-9439	36	29.94	1,077.84	1102	Culata
25	Bocina	1W4594	36	19.25	693.00	1102	Culata
26	Resorte	7N4782	36	6.16	221.76	1102	Culata
27	Botón	8F8858	36	4.26	153.36	1102	Culata
28	Anillo	9F7707	36	1.05	37.80	1102	Culata
29	Bocina	7N5244	5	35.71	178.55	1150	Culata
30	Sello	3J7354	35	0.47	16.45	1100	Culata
	BLOCK				5,179.33		
31	Bocina	116-1359	14	58.11	813.54	1201	Block
32	Camisa	118-9494	12	210.16	2,521.92	1201	Block
33	Sello	5F9657	4	1.18	4.72	1201	Block
34	Arandela	5P8249	28	0.84	23.52	1201	Block
35	Sello	8T2928	2	1.56	3.12	1201	Block
36	Sello	8T2929	2	1.60	3.20	1201	Block
37	Metal de bancada	149-6031	7	131.33	919.31	1202	Block
38	Separador de juego axial	7C6209	2	216.96	433.92	1202	Block
39	Espaciador	101-1368	2	38.42	76.84	1204	Block
40	Bocina	125-9751	2	27.81	55.62	1204	Block
41	Bocina	4P5438	1	35.95	35.95	1204	Block
42	Bocina	7N6983	1	49.63	49.63	1204	Block
43	Manguito	535065	1	5.59	5.59	1205	Block
44	Sello	6V7196	1	10.39	10.39	1205	Block
45	Arandela	5R7136	2	1.34	2.68	1206	Block
46	Arandela	5R7137	2	1.84	3.68	1206	Block
47	Arandela	7C3257	1	20.00	20.00	1206	Block
48	Arandela	7N5246	1	42.37	42.37	1206	Block
49	Bocina	8N5301	1	59.53	59.53	1206	Block
50	Arandela	7N3218	2	23.45	46.90	1210	Block
51	Arandela	7N3218	2	23.45	46.90	1210	Block

ITEM	DESCRIPCION	N° PARTE	CTD.	P.U.	TOTAL	GRUPO	SISTEMA
	PISTON Y BIELA				10,854.96		
52	Metal de biela	107-7330	12	87.90	1,054.80	1225	Pistón y biela
53	Bocina	118-1655	12	27.28	327.36	1225	Pistón y biela
54	Pin de pistón	138-8506	12	94.50	1,134.00	1225	Pistón y biela
55	Perno	7N2405	48	28.88	1,386.24	1225	Pistón y biela
56	Anillo	7E-7581	12	34.44	413.28	1225	Pistón y biela
57	Anillo	8N-1234	12	34.44	413.28	1225	Pistón y biela
58	Seguro	8N7296	24	3.96	95.04	1225	Pistón y biela
59	Anillo	7W-2221	12	34.44	413.28	1225	Pistón y biela
60	Pistón	134-3802	12	468.14	5,617.68	1225	Pistón y biela
	SISTEMA DE COMBUSTIBLE				629.14		
61	Sensor de velocidad	3N7477	3	78.10	234.30	1251	Líneas de combustible
62	Sello	5H1190	1	3.05	3.05	1251	Líneas de combustible
63	Terminal	6V8955	2	22.01	44.02	1251	Líneas de combustible
64	Bocina	8L6376	2	19.18	38.36	1251	Líneas de combustible
65	Sello	5H1190	1	3.10	3.10	1251	Líneas de combustible
66	Empaquetadura	8N9885	1	5.12	5.12	1251	Líneas de combustible
67	Sello	2M9780	9	0.67	6.03	1252	Líneas de combustible
68	Sello	3J1907	12	0.50	6.00	1252	Líneas de combustible
69	Bola	4B9782	1	0.05	0.05	1258	Bomba de cebado
70	Arandela	5M2894	2	0.17	0.34	1258	Bomba de cebado
71	Resorte	9N1752	1	5.21	5.21	1258	Bomba de cebado
72	Bomba de cebado	162-3906	1	149.75	149.75	1258	Bomba de cebado
73	Sello	6V0895	2	0.95	1.90	1256	Bomba de cebado
74	Sello	3K0360	2	0.59	1.18	1258	Bomba de cebado
75	Solenoides	6T4751	1	130.73	130.73	1259	Corte de combustible
	CONTROL DEL GOBERNADOR				907.26		
76	Varilla	1N4679	12	58.24	698.88	1265	Varillaje gobernador
77	Bocina	7N5984	2	6.54	13.08	1265	Varillaje gobernador
78	Bocina	1W9379	1	15.42	15.42	1288	Gobernador
79	Acople	2W7253	1	173.60	173.60	1288	Gobernador
80	Sello	2H3932	1	0.99	0.99	1265	Varillaje gobernador
81	Sello	3K2593	1	3.64	3.64	1265	Varillaje gobernador
82	Empaquetadura	8N1996	1	1.17	1.17	1265	Varillaje gobernador
83	Sello	1J9671	1	0.48	0.48	1288	Gobernador
	SISTEMA DE LUBRICACION Y BOMBA DE ACEITE				167.11		
84	Válvula	2W1969	1	27.70	27.70	1306	Filtro de aceite
85	Filtro	1R0726	4	31.75	127.00	1306	Filtro de aceite
86	Kit de prelubricación	2N7522	1	6.50	6.50	1319	Bomba de prelubricación
87	Sello	1S0004	1	2.14	2.14	1300	Líneas de lubricación
88	Sello	3P1156	1	3.77	3.77	1304	Bomba de aceite
	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO				5,441.30		
89	Válvula	111-4374	1	2.19	2.19	1355	Líneas de agua
90	Termostato	6I4950	4	25.72	102.88	1355	Líneas de agua
91	Seguro	2P3696	1	6.04	6.04	1361	Bomba de agua
92	Eje	2W9723	1	253.72	253.72	1361	Bomba de agua
93	Impelente	2W9724	1	148.64	148.64	1361	Bomba de agua
94	Filtro	4N5834	2	0.34	0.68	1361	Bomba de agua
95	Pin	6F7172	1	1.63	1.63	1361	Bomba de agua
96	Tuerca	6V8287	1	0.90	0.90	1361	Bomba de agua
97	Arandela de empuje	7N4758	1	39.79	39.79	1361	Bomba de agua
98	Arandela	9M1974	4	1,114.65	4,458.60	1361	Bomba de agua
99	Junta	3P1774	4	95.90	383.60	1380	Líneas de agua
100	Sello	7M6637	1	5.85	5.85	1352	Líneas de agua
101	Sello	4M0189	2	2.58	5.16	1354	Líneas de agua
102	Sello	4W5359	1	10.14	10.14	1356	Líneas de agua
103	Sello	2M4453	32	0.63	20.16	1371	Bomba de agua auxiliar
104	Sello	7J0204	3	0.44	1.32	1371	Bomba de agua auxiliar

ITEM	DESCRIPCION	N° PARTE	CTD.	P.U.	TOTAL	GRUPO	SISTEMA
	SISTEMA ELECTRICO				776.46		
105	Termo magnético 60A	6T3645	1	20.09	20.09	420	Sistema eléctrico
106	Interruptor de emergencia	4W8735	1	91.84	91.84	426	Sistema eléctrico
107	Manguito	4M5317	1	132	132	451	Sistema de arranque
108	Contacto	2W8915	1	97.35	97.35	7400	Sistema de protección
109	Indicador	4W0510	1	96.97	96.97	7400	Sistema de protección
110	Termo magnético 10A	6T3642	1	23.70	23.70	7418	Sistema de parada
111	Termo magnético 20A	6T3644	1	18.91	18.91	7418	Sistema de parada
112	Amortiguador de goma	2W8603	4	7.97	31.88	7426	Caja de terminales
113	Interruptor de sobrevelocidad	7W2743	1	392.86	392.86	7426	Caja de terminales
114	Empaquetadura	8L3873	1	154	154	7418	Sistema de parada
	INDICADORES Y ACCESORIOS				1,931.24		
115	Manómetro	4W0506	1	96.97	96.97	7451	Indicadores
116	Indicador	4W0511	2	196.32	392.64	7451	Indicadores
117	Indicador	4W2683	2	172.22	344.44	7451	Indicadores
118	Tacómetro	9X1116	1	381.67	381.67	7462	Indicadores
119	Pirómetro	3N4416	1	388.51	388.51	7466	Indicadores
120	Amperímetro	8M7892	1	19.13	19.13	7467	Indicadores
121	Termocupla	3N5991	2	123.48	246.96	7498	Indicadores
122	Interruptor	9F3099	2	30.46	60.92	7499	Indicadores
	CARTER				131.99		
123	Sello	6V0973	2	12.44	24.88	1307	Cárter
124	Sello	6V4315	1	12.80	12.80	1302	Cárter
125	Sello	6V4314	2	14.49	28.98	1302	Cárter
126	Sello	6V5101	2	13.37	26.74	1302	Cárter
127	Sello	5P7818	1	12.62	12.62	1302	Cárter
128	Sello	5P8872	1	13.68	13.68	1307	Cárter
129	Sello	3P0654	1	12.29	12.29	1302	Cárter
	MANDO VENTILADOR				193.21		
130	Encaje	4B4550	1	0.90	0.90	7174	Polea y faja
131	Encaje	3B8686	1	0.75	0.75	7174	Polea y faja
132	Manguera	3N4622	2	15.96	31.92	7174	Polea y faja
133	Fajas	7W5228	1	159.64	159.64	1357	Polea y faja
	TURBOALIMENTADOR				10,304.50		
134	Turbo alimentador	134-6704	2	4,972.66	9,945.32	1052	Turboalimentador
135	Acople	124-5514	2	82.04	164.08	1052	Turboalimentador
136	Seguro	6L-3005	8	21.80	174.40	1052	Turboalimentador
137	Arandela de presión	168-7800	8	1.07	8.56	1052	Turboalimentador
138	Empaquetadura	121-5736	2	6.07	12.14	1052	Turboalimentador
	LÍNEAS Y TRAMPA DE AIRE				6,650.87		
139	Codo	116-9868	1	937.46	937.46	1071	Líneas de aire
140	Sello	6V-3319	2	13.27	26.54	1071	Líneas de aire
141	Sello	6V-3917	4	14.23	56.92	1071	Líneas de aire
142	Sello	6V-5167	4	17.10	68.40	1071	Líneas de aire
143	Empaquetadura	5L-3773	1	14.43	14.43	1071	Líneas de aire
144	Tubería	2W-9585	1	97.33	97.33	1071	Líneas de aire
145	Tubería	2W-9584	1	929.60	929.60	1071	Líneas de aire
146	Empaquetadura	1W-1251	5	11.86	59.30	1071	Líneas de aire
147	Sello	6V-3319	2	13.27	26.54	1071	Líneas de aire
148	Brida	7E-8550	2	106.24	212.48	1071	Líneas de aire
149	Perno	0T-0573	4	0.50	2.00	1071	Líneas de aire
150	Perno	0S-1619	2	0.34	0.68	1071	Líneas de aire
151	Arandela	8M-7145	2	0.69	1.38	1071	Líneas de aire
152	Perno	1A-2029	2	0.19	0.38	1071	Líneas de aire

ITEM	DESCRIPCION	N° PARTE	CTD.	P.U.	TOTAL	GRUPO	SISTEMA
	LINEAS Y TRAMPA DE AIRE				3,397.43		
153	Arandela	5M-2894	6	0.17	1.02	1071	Líneas de aire
154	Sello	5P5700	4	13.39	53.56	1071	Líneas de aire
155	Carcaza	2W-5213	1	1,618.53	1,618.53	1078	Corte de aire
156	Empaquetadura	1W-7391	1	8.07	8.07	1078	Corte de aire
157	Perno	0S-1591	8	0.27	2.16	1078	Corte de aire
158	Arandela	5M-2894	8	0.17	1.36	1078	Corte de aire
159	Carcaza	144-8274	1	632.75	632.75	1078	Corte de aire
160	Bocina	1W-8975	2	9.23	18.46	1078	Corte de aire
161	Tapón	3S-8313	1	1.46	1.46	1078	Corte de aire
162	Palanca	7E-2891	1	96.58	96.58	1078	Corte de aire
163	Eje	7E-2889	1	415.60	415.60	1078	Corte de aire
164	Bocina	1W-8974	2	5.32	10.64	1078	Corte de aire
165	Tapón	5M-6213	2	1.21	2.42	1078	Corte de aire
166	Perno	0S-1588	5	0.20	1.00	1078	Corte de aire
167	Tuerca	2K-4973	1	0.21	0.21	1078	Corte de aire
168	Terminal	5C-6819	1	5.93	5.93	1078	Corte de aire
169	Tapa	133-9302	1	82.37	82.37	1078	Corte de aire
170	Sello	5P-6859	1	8.42	8.42	1078	Corte de aire
171	Empaquetadura	1W-8393	1	2.88	2.88	1078	Corte de aire
172	Plancha	2W-4880	1	54.60	54.60	1078	Corte de aire
173	Perno	0S-1594	4	0.17	0.68	1078	Corte de aire
174	Espaciador	8D-5898	4	6.23	24.92	1078	Corte de aire
175	Arandela	1T-0689	2	0.23	0.46	1078	Corte de aire
176	Manguito	1W-8378	1	16.94	16.94	1078	Corte de aire
177	Tornillo	3H-6624	1	8.60	8.60	1078	Corte de aire
178	Arandela	5M-2894	4	0.17	0.68	1078	Corte de aire
179	Espiga	6N-0265	1	0.85	0.85	1078	Corte de aire
180	Resorte	4W-1954	1	15.82	15.82	1078	Corte de aire
181	Arandela	1H-9726	1	2.37	2.37	1078	Corte de aire
182	Resorte	4W-7959	1	9.02	9.02	1078	Corte de aire
183	Perilla	2W-5652	1	50.13	50.13	1078	Corte de aire
184	Eje	2W-6382	1	48.50	48.50	1259	Corte de aire
185	Resorte	5L-8983	1	4.60	4.60	1259	Corte de aire
186	Solenoide	8C-6099	1	123.11	123.11	1259	Corte de aire
187	Tuerca	6V-8377	2	1.07	2.14	1259	Corte de aire
188	Arandela de presión	9B-7233	2	0.09	0.18	1259	Corte de aire
189	Nipple	1H-4560	2	1.34	2.68	1259	Corte de aire
190	Diodo	1W-9070	1	17.45	17.45	1259	Corte de aire
191	Cubierta	2W-6507	1	46.34	46.34	1259	Corte de aire
192	Perno	0S-1615	2	0.09	0.18	1259	Corte de aire
193	Tuerca	1B-4330	2	0.08	0.16	1259	Corte de aire
194	Arandela	5P-0537	4	0.15	0.60	1259	Corte de aire
195	Arandela	1A-8912	2	0.62	1.24	1259	Corte de aire
196	Empaquetadura	8L-3873	1	1.54	1.54	1259	Corte de aire
197	Perno	7B-2742	2	0.11	0.22	1259	Corte de aire
	TOTAL OVERHAUL				49,312.27		

Tabla A17.- Despiece de repuestos para la reparación general del motor a gas.

ITEM	DESCRIPCION	N° PARTE	CTD.	P.U.	TOTAL	GROUP	SISTEMA
	KIT DE EMPAQUETADURAS				3,169.19		
1	Kit de culatas	114-9437	1	1,027.95	1,027.95	1000	Motor
2	Kit de montaje de turbo	6V3769	1	132.35	132.35	1000	Motor
3	Kit de camisas	6V3774	12	15.51	186.12	1000	Motor
4	Kit del sistema de combustible	6V9897	1	15.26	15.26	1000	Motor
5	Kit inferior de motor	8T4862	1	456.19	456.19	1000	Motor
6	Kit posterior de motor	8T4864	1	161.45	161.45	1000	Motor
7	Kit de enfriador de aceite	8T4866	1	289.85	289.85	1000	Motor
8	Kit de bomba de agua	172-2299	1	73.97	73.97	1000	Motor
9	Kit de bomba de aceite	197-5345	1	96.09	96.09	1000	Motor
10	Kit de multiple de escape	8T8186	1	260.46	260.46	1000	Motor
11	Kit del post-efriador	8T8188	1	191.48	191.48	1000	Motor
12	Kit delantero de motor.	8T8189	1	207.15	207.15	1000	Motor
13	Kit de lineas de agua	8T8191	1	70.87	70.87	1000	Motor
	CULATA				7,765.08		
14	Válvula escape	121-9839	24	45.98	1,103.52	1100	Culata
15	Guía de válvula	133-9306	48	10.92	524.16	1100	Culata
16	Asiento de válvula de escape	131-4340	24	31.27	750.48	1100	Culata
17	Rotador	133-3814	48	8.50	408.00	1100	Culata
18	Asiento de válvula de admisión	136-9630	24	18.40	441.60	1100	Culata
19	Seguro	2A4429	96	0.20	19.20	1100	Culata
20	Arandela	2W2662	48	3.57	171.36	1100	Culata
21	Válvula de admisión	7E4609	24	46.28	1,110.72	1100	Culata
22	Espiga	7N1902	24	10.86	260.64	1100	Culata
23	Resorte	7N1903	48	4.38	210.24	1100	Culata
24	Resorte	7N1904	48	8.05	386.40	1100	Culata
25	Levantador	132-9439	36	29.94	1,077.84	1102	Culata
26	Bocina	1W4594	36	19.25	693.00	1102	Culata
27	Resorte	7N4782	36	6.16	221.76	1102	Culata
28	Botón	8F8858	36	4.26	153.36	1102	Culata
29	Anillo	9F7707	36	1.05	37.80	1102	Culata
30	Bocina	7N5244	5	35.71	178.55	1150	Culata
31	Sello	3J7354	35	0.47	16.45	1100	Culata

ITEM	DESCRIPCION	N° PARTE	CTD.	P.U.	TOTAL	GROUP	SISTEMA
	BLOCK				5,179.33		
32	Bocina	116-1359	14	58.11	813.54	1201	Block
33	Camisa	118-9494	12	210.16	2,521.92	1201	Block
34	Sello	5F9657	4	1.18	4.72	1201	Block
35	Arandela	5P8249	28	0.84	23.52	1201	Block
36	Sello	8T2928	2	1.56	3.12	1201	Block
37	Sello	8T2929	2	1.60	3.20	1201	Block
38	Metal de bancada	149-6031	7	131.33	919.31	1202	Block
39	Separador de juego axial	7C6209	2	216.96	433.92	1202	Block
40	Espaciador	101-1368	2	38.42	76.84	1204	Block
41	Bocina	125-9751	2	27.81	55.62	1204	Block
42	Bocina	4P5438	1	35.95	35.95	1204	Block
43	Bocina	7N6983	1	49.63	49.63	1204	Block
44	Manguito	535065	1	5.59	5.59	1205	Block
45	Sello	6V7196	1	10.39	10.39	1205	Block
46	Arandela	5R7136	2	1.34	2.68	1206	Block
47	Arandela	5R7137	2	1.84	3.68	1206	Block
48	Arandela	7C3257	1	20.00	20.00	1206	Block
49	Arandela	7N5246	1	42.37	42.37	1206	Block
50	Bocina	8N5301	1	59.53	59.53	1206	Block
51	Arandela	7N3218	2	23.45	46.90	1210	Block
52	Arandela	7N3218	2	23.45	46.90	1210	Block
	PISTON Y BIELA				10,750.44		
53	Metal de biela	107-7330	12	87.90	1,054.80	1225	Pistón y biela
54	Bocina	118-1655	12	27.28	327.36	1225	Pistón y biela
55	Pin de pistón	138-8506	12	94.50	1,134.00	1225	Pistón y biela
56	Perno	7N2405	48	28.88	1,386.24	1225	Pistón y biela
57	Anillo	7W2221	12	33.97	407.64	1225	Pistón y biela
58	Anillo	8N1233	12	35.74	428.88	1225	Pistón y biela
59	Seguro	8N7296	24	3.96	95.04	1225	Pistón y biela
60	Anillo	8N7810	12	35.74	428.88	1225	Pistón y biela
61	Pistón	9Y4124	12	457.30	5,487.60	1225	Pistón y biela

ITEM	DESCRIPCION	N° PARTE	CTD.	P.U.	TOTAL	GROUP	SISTEMA
	SISTEMA DE COMBUSTIBLE				2,924.95		
62	Sensor de velocidad	3N7477	3	78.10	234.30	1251	Líneas de comsbustible
63	Sello	5H1190	1	3.05	3.05	1251	Líneas de comsbustible
64	Terminal	6V8955	2	22.01	44.02	1251	Líneas de comsbustible
65	Bocina	8L6376	2	19.18	38.36	1251	Líneas de comsbustible
66	Inyector	7C0340	12	147.94	1,775.28	1254	Líneas de comsbustible
67	Sello	5H1190	1	3.10	3.10	1251	Líneas de comsbustible
68	Empaquetadura	8N9885	1	5.12	5.12	1251	Líneas de comsbustible
69	Sello	2M9780	9	0.67	6.03	1252	Líneas de comsbustible
70	Sello	3J1907	12	0.50	6.00	1252	Líneas de comsbustible
71	Sello	169-8617	1	27.93	27.93	1256	Bomba de transferencia
72	Sello	112-3597	1	6.53	6.53	1256	Bomba de transferencia
73	Piñón	1W4003	1	49.22	49.22	1256	Bomba de transferencia
74	Eje de mando	124-9437	1	177.05	177.05	1256	Bomba de transferencia
75	Válvula	1W4007	1	3.28	3.28	1256	Bomba de transferencia
76	Válvula	1W4009	1	3.40	3.40	1256	Bomba de transferencia
77	Resorte	1W4655	1	4.62	4.62	1256	Bomba de transferencia
78	Manguito	1W6935	2	6.15	12.30	1256	Bomba de transferencia
79	Sello	6V0895	2	0.92	1.84	1256	Bomba de transferencia
80	Bocina	7C2870	4	24.53	98.12	1256	Bomba de transferencia
81	Bocina	7C2870	4	24.53	98.12	1256	Bomba de transferencia
82	Sello	1H9696	1	1.35	1.35	1256	Bomba de transferencia
83	Empaquetadura	1W4008	1	2.18	2.18	1256	Bomba de transferencia
84	Sello	112-3597	1	6.66	6.66	1256	Bomba de transferencia
85	Sello	169-8617	1	27.93	27.93	1256	Bomba de transferencia
86	Sello	3K0360	2	0.59	1.18	1258	Bomba de cebado
87	Bola	4B9782	1	0.05	0.05	1258	Bomba de cebado
88	Arandela	5M2894	2	0.17	0.34	1258	Bomba de cebado
89	Resorte	9N1752	1	5.21	5.21	1258	Bomba de cebado
90	Bomba de cebado	162-3906	1	149.75	149.75	1258	Bomba de cebado
91	Sello	6V0895	2	0.95	1.90	1256	Bomba de cebado
92	Solenoide	6T4751	1	130.73	130.73	1259	Corte de combustible
	CONTROL DEL GOVERNADOR				907.26		
93	Varilla	1N4679	12	58.24	698.88	1265	Varillaje del gobernador
94	Bocina	7N5984	2	6.54	13.08	1265	Varillaje del gobernador
95	Bocina	1W9379	1	15.42	15.42	1288	Gobernador
96	Acople	2W7253	1	173.60	173.60	1288	Gobernador
97	Sello	2H3932	1	0.99	0.99	1265	Varillaje del gobernador
98	Sello	3K2593	1	3.64	3.64	1265	Varillaje del gobernador
99	Empaquetadura	8N1996	1	1.17	1.17	1265	Varillaje del gobernador
100	Sello	1J9671	1	0.48	0.48	1288	Gobernador
	SISTEMA DE LUBRICACION Y BOMBA DE ACEITE				167.11		
101	Válvula	2W1969	1	27.70	27.70	1306	Filtro de aceite
102	Filtro	1R0726	4	31.75	127.00	1306	Filtro de aceite
103	Kit de prelubricación	2N7522	1	6.50	6.50	1319	Bomba de prelubricación
104	Sello	1S0004	1	2.14	2.14	1300	Línea de lubricación
105	Sello	3P1156	1	3.77	3.77	1304	Bomba de caeite

ITEM	DESCRIPCION	N° PARTE	CTD.	P.U.	TOTAL	GROUP	SISTEMA
	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO				5,441.30		
106	Válvula	111-4374	1	2.19	2.19	1355	Línea de agua
107	Termostato	6I4950	4	25.72	102.88	1355	Línea de agua
108	Seguro	2P3696	1	6.04	6.04	1361	Bomba de agua
109	Eje	2W9723	1	253.72	253.72	1361	Bomba de agua
110	Impelente	2W9724	1	148.64	148.64	1361	Bomba de agua
111	Filtro	4N5834	2	0.34	0.68	1361	Bomba de agua
112	Pin	6F7172	1	1.63	1.63	1361	Bomba de agua
113	Tuerca	6V8287	1	0.90	0.90	1361	Bomba de agua
114	Arandela de empuje	7N4758	1	39.79	39.79	1361	Bomba de agua
115	Arandela	9M1974	4	1,114.65	4,458.60	1361	Bomba de agua
116	Junta	3P1774	4	95.90	383.60	1380	Línea de agua
117	Sello	7M6637	1	5.85	5.85	1352	Línea de agua
118	Sello	4M0189	2	2.58	5.16	1354	Línea de agua
119	Sello	4W5359	1	10.14	10.14	1356	Línea de agua
120	Sello	2M4453	32	0.63	20.16	1371	Bomba de agua
121	Sello	7J0204	3	0.44	1.32	1371	Bomba de agua
	SISTEMA ELECTRICO				776.46		
122	Termomagnético 60A	6T3645	1	20.09	20.09	1420	Sistema eléctrico
123	Interruptor de emergencia	4W8735	1	91.84	91.84	1426	Sistema eléctrico
124	Manguito	4M5317	1	1.32	1.32	1451	Sistema de arranque.
125	Contactador	2W8915	1	97.35	97.35	7400	Sistema de protección
126	Indicador	4W0510	1	96.97	96.97	7400	Sistema de protección
127	Termomagnético 10A	6T3642	1	23.70	23.70	7418	Sistema de parada
128	Termomagnético 20A	6T3644	1	18.91	18.91	7418	Sistema de parada
129	Empaquetadura	8L3873	1	1.54	1.54	7418	Sistema de parada
130	Amortiguador de goma	2W8603	4	7.97	31.88	7426	Caja de terminales
131	Interruptor de sobrevelocidad	7W2743	1	392.86	392.86	7426	Caja de terminales
	INDICADORES Y ACCESORIOS				1,931.24		
132	Manómetro	4W0506	1	96.97	96.97	7451	Indicadores
133	Indicador	4W0511	2	196.32	392.64	7451	Indicadores
134	Indicador	4W2683	2	172.22	344.44	7451	Indicadores
135	Tacómetro	9X1116	1	381.67	381.67	7462	Indicadores
136	Pirómetro	3N4416	1	388.51	388.51	7466	Indicadores
137	Amperímetro	8M7892	1	19.13	19.13	7467	Indicadores
138	Termocupla	3N5991	2	123.48	246.96	7498	Indicadores
139	Interruptor	9F3099	2	30.46	60.92	7499	Indicadores
	CARTER				185.55		
140	Sello	6V0973	2	12.44	24.88	1307	Cárter
141	Sello	6V4315	1	12.80	12.80	1302	Cárter
142	Sello	6V4314	2	14.49	28.98	1302	Cárter
143	Sello	5P5700	4	13.39	53.56	1071	Líneas de aire
144	Sello	6V5101	2	13.37	26.74	1302	Cárter
145	Sello	5P7818	1	12.62	12.62	1302	Cárter
146	Sello	5P8872	1	13.68	13.68	1307	Cárter
147	Sello	3P0654	1	12.29	12.29	1302	Cárter

ITEM	DESCRIPCION	N° PARTE	CTD.	P.U.	TOTAL	GROUP	SISTEMA
	MANDO VENTILADOR				193.21		
148	Encaje	4B4550	1	0.90	0.90	7174	Mando de ventilador
149	Encaje	3B8686	1	0.75	0.75	7174	Mando de ventilador
150	Manguera	3N4622	2	15.96	31.92	7174	Mando de ventilador
151	Fajas	7W5228	1	159.64	159.64	1357	Polea
	TURBOALIMENTADOR				3,323.84		
152	Turbo alimentador	120-9187	1	2,964.66	2,964.66	1052	Turboalimentador
153	Acople	124-5514	2	82.04	164.08	1052	Turboalimentador
154	Seguro	6L-3005	8	21.80	174.40	1052	Turboalimentador
155	Arandela de presión	168-7800	8	1.07	8.56	1052	Turboalimentador
156	Empaquetadura	121-5736	2	6.07	12.14	1052	Turboalimentador
	LINEAS Y TRAMPA DE AIRE				6,597.31		
157	Codo	116-9868	1	937.46	937.46	1071	Lineas de aire
158	Sello	6V-3319	2	13.27	26.54	1071	Lineas de aire
159	Sello	6V-3917	4	14.23	56.92	1071	Lineas de aire
160	Sello	6V-5167	4	17.10	68.40	1071	Lineas de aire
161	Empaquetadura	5L-3773	1	14.43	14.43	1071	Lineas de aire
162	Tubería	2W-9585	1	917.33	917.33	1071	Lineas de aire
163	Tubería	2W-9584	1	929.60	929.60	1071	Lineas de aire
164	Empaquetadura	1W-1251	5	11.86	59.30	1071	Lineas de aire
165	Carcaza	2W-5213	1	1,618.53	1,618.53	1078	Corte de aire
166	Empaquetadura	1W-7391	1	8.07	8.07	1078	Corte de aire
167	Perno	0S-1591	8	0.27	2.16	1078	Corte de aire
168	Arandela	5M-2894	8	0.17	1.36	1078	Corte de aire
169	Carcaza	144-8274	1	632.75	632.75	1078	Corte de aire
170	Bocina	1W-8975	2	9.23	18.46	1078	Corte de aire
171	Tapón	3S-8313	1	1.46	1.46	1078	Corte de aire
172	Palanca	7E-2891	1	96.58	96.58	1078	Corte de aire
173	Eje	7E-2889	1	415.60	415.60	1078	Corte de aire
174	Bocina	1W-8974	2	5.32	10.64	1078	Corte de aire
175	Tapón	5M-6213	2	1.21	2.42	1078	Corte de aire
176	Perno	0S-1588	5	0.20	1.00	1078	Corte de aire
177	Tuerca	2K-4973	1	0.21	0.21	1078	Corte de aire
178	Terminal	5C-6819	1	5.93	5.93	1078	Corte de aire
179	Tapa	133-9302	1	82.37	82.37	1078	Corte de aire
180	Sello	5P-6859	1	8.42	8.42	1078	Corte de aire
181	Empaquetadura	1W-8393	1	2.88	2.88	1078	Corte de aire
182	Plancha	2W-4880	1	54.60	54.60	1078	Corte de aire
183	Perno	0S-1594	4	0.17	0.68	1078	Corte de aire
184	Espaciador	8D-5898	4	6.23	24.92	1078	Corte de aire
185	Arandela	1T-0689	2	0.23	0.46	1078	Corte de aire
186	Manguito	1W-8378	1	16.94	16.94	1078	Corte de aire
187	Tomillo	3H-6624	1	8.60	8.60	1078	Corte de aire
188	Arandela	5M-2894	4	0.17	0.68	1078	Corte de aire
189	Espiga	6N-0265	1	0.85	0.85	1078	Corte de aire
190	Resorte	4W-1954	1	15.82	15.82	1078	Corte de aire

ITEM	DESCRIPCION	N° PARTE	CTD.	P.U.	TOTAL	GROUP	SISTEMA
	LINEAS Y TRAMPA DE AIRE				554.94		
191	Arandela	1H-9726	1	2.37	2.37	1078	Corte de aire
192	Resorte	4W-7959	1	9.02	9.02	1078	Corte de aire
193	Perilla	2W-5652	1	50.13	50.13	1078	Corte de aire
194	Eje	2W-6382	1	48.50	48.50	1259	Solenoide corte de aire
195	Resorte	5L-8983	1	4.60	4.60	1259	Solenoide corte de aire
196	Solenoide	8C-6099	1	123.11	123.11	1259	Solenoide corte de aire
197	Tuerca	6V-8377	2	1.07	2.14	1259	Solenoide corte de aire
198	Arandela de presión	9B-7233	2	0.09	0.18	1259	Solenoide corte de aire
199	Nipple	1H-4560	2	1.34	2.68	1259	Solenoide corte de aire
200	Diodo	1W-9070	1	17.45	17.45	1259	Solenoide corte de aire
201	Cubierta	2W-6507	1	46.34	46.34	1259	Solenoide corte de aire
202	Perno	0S-1615	2	0.09	0.18	1259	Solenoide corte de aire
203	Tuerca	1B-4330	2	0.08	0.16	1259	Solenoide corte de aire
204	Arandela	5P-0537	4	0.15	0.60	1259	Solenoide corte de aire
205	Arandela	1A-8912	2	0.62	1.24	1259	Solenoide corte de aire
206	Empaquetadura	8L-3873	1	1.54	1.54	1259	Solenoide corte de aire
207	Perno	7B-2742	2	0.11	0.22	1259	Solenoide corte de aire
208	Sello	6V-3319	2	13.27	26.54	1071	Líneas de aire
209	Brida	7E-8550	2	106.24	212.48	1071	Líneas de aire
210	Perno	0T-0573	4	0.50	2.00	1071	Líneas de aire
211	Perno	0S-1619	2	0.34	0.68	1071	Líneas de aire
212	Arandela	8M-7145	2	0.69	1.38	1071	Líneas de aire
213	Perno	1A-2029	2	0.19	0.38	1071	Líneas de aire
214	Arandela	5M-2894	6	0.17	1.02	1071	Líneas de aire
	TOTAL OVERHAUL				55,162.72		