SATURACIÓN PREMATURA DE FILTRO DE AIRE EN EQUIPOS MECANIZADOS TOMANDO COMO EVIDENCIA TECNOLOGÍA DE CAMIONETA TOYOTA HILUX

Jorge Arturo Barrera Arias

Trabajo de Grado para Optar el título de Especialización en ingeniería automotriz

Director

Oscar Alberto Cómbita Puerto

Ingeniero Mecánico

Maestría en administración de empresas y logística y dirección de operaciones.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingeniería Mecánica

Escuela de ingeniería mecánica.

Bucaramanga

2021

Tabla de Contenido

Introducción 7

1. Objetivos 9

1.1 objetivo general 9

1.2 objetivos específicos 9

2. Cuerpo del trabajo 9

2.1 marco referencial 9

2.1.1 método 11

2.1.2 resultados. 12

3. Conclusiones 27

Referencias Bibliograficas 28

Lista de Tablas

Tabla 1. Comparación del comportamiento de la densidad del aire respecto a la densidad y la humedad relativa del ambiente 15

Tabla 2. Cantidad de aire en CFM y m3/min en superficie 17

Tabla 3. Para equipo en interior mina: K=3m3/min. (dato tomado de estudio de ventilación en mina en chile)..... 17

Lista de Figuras

Figura 1. Prueba de gases efectuada en mina providencia 2..... 13

Figura 2. Variación del flujo másico con relación al aumento de temperatura y humedad..... 18

Figura 3. Enunciado de capacitación de servicio y training Deutz a para combustión 19

Figura 4. Rangos de mezcla dependido de la relación lambda 23

Figura 5. Efecto de lambda en la generación de HC en los gases de escape 24

Figura 6. Resultado teórico de la combustión que esta presentado en la camioneta hylux para las altas ppm de CO y HC. 25

Resumen

Título: Saturación prematura en filtros de aire en equipos mecanizados tomando como evidencia tecnología de camioneta Toyota Hilux. [1]

Autor: Jorge Arturo Barrera Arias

Palabras Clave: estequiometria, carburante, combustión, Diesel, elemento filtrante oxidante, relación de compresión, norma EURO 4.

Descripción:

Los ambientes mineros son desafíos grandes para los equipos con motorización Diesel, la alta humedad, entre otros, son factores que ayudan a disminuir el tiempo de recambio de sus componentes; uno de los elementos que más sufre en este ambiente es el filtro de aire, que es el encargado de limpiar el aire para quitar todas las partículas presentes en el ambiente y con esto evitar daños en el interior del motor. Con la operación constante en el interior de las minas y el desarrollo de obras mineras, el nivel de oxígeno disminuye haciendo que el inyectar aire como extraerlo sea un reto de ingeniería y como consecuencia si se consigue operar motores en un ambiente con estas características hace que el consumo de combustible, como de filtros se aumente, debido a la mezcla rica que presenta el motor dejando en los gases de escape micropartículas que son succionadas nuevamente por el motor. Para el sistema de admisión volver a captar el aire con estas características el filtro de aire se impregna fácilmente de estas partículas de hollín saturándolo prematuramente; esto sumado a la humedad relativa del ambiente hace que al momento de los recambios de los filtros salga completamente con una superficie negra, que no deja que el aire pase libremente y no permite hacer una buena combustión. Este ciclo se repite formando un círculo vicioso entre admisión y escape lo cual a medida que operan los motores de combustión, el ambiente se satura de esta mezcla que no es evacuada. Todo esto fue posible evidenciarlo al poner en operación un motor diésel con la normativa EURO4, la cual presenta sensores de oxígeno en el escape, que ayudan a equilibrar la mezcla aire combustible permitiendo optimizar dicha mezcla.

[1] Trabajo de Grado para Optar el título de Especialización en ingeniería automotriz

Facultad de Ingeniería Mecánica. Escuela de ingeniería mecánica. Director Oscar Alberto Cómbita Puerto.

Abstract

Title: Premature saturation in air filters in mechanized equipment taking Toyota Hilux truck technology as evidence. [2]

Author: Jorge Arturo Barrera Arias **

Key Words: stoichiometry, fuel, combustion, Diesel, oxidizing filter element, compression ratio, EURO 4 standard.

Description:

Mining environments are great challenges for equipment with Diesel engines, high humidity are factors that help reduce the replacement time of its components one of the elements that suffers the most in this environment are the air filters, this element that is of It is extremely important to clean the air to remove all the particles present in the environment and thereby avoid damage to the interior of the engine. With the constant operation inside the mines, the development of the mining works, the level of oxygen decreases, making injecting air and extracting it an engineering challenge and as a consequently, if it is possible to operate engines in an environment with these characteristics, it makes the Consumption of fuel and filters is increased due to the rich mixture that the engine presents, leaving microparticles in the exhaust gases that are sucked back by the engine. When the intake system recaptures the air with these characteristics, the air filter is easily impregnated with these soot particles, saturating it prematurely; This, added to the relative humidity of the environment, means that when the filters are replaced, it comes out completely with a black surface, which does not let the air pass freely to allow good combustion, this is repeated forming a vicious circle between intake and exhaust which as the combustion engines operate the environment becomes saturated with this mixture that is not evacuated. Everything is out of the question by putting into operation a diesel engine with the EURO4 standard, which has oxygen sensors in the exhaust that helps to balance the air-fuel mixture in order to optimize the mixture.

[2] Degree Work to Opt for the Specialization Degree in Automotive Engineering

Faculty of Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director Oscar Alberto Cómbita Puerto.

Introducción

Para todo motor es necesario contar con dos factores indispensables para que la combustión sea un éxito; un carburante que es el combustible ya sea en cualquiera de sus estados, liquido (Diesel, nafta), solido (como el carbón) y gaseoso (como el natural) y un oxidante que sería el aire ya que su composición lleva el elemento clave para poder generar la reacción, el oxígeno.

Para poder utilizar este oxígeno y poder producir la combustión en los motores, en este caso, se hará énfasis en motor Diesel; es necesario garantizar que el aire en la succión sea lo más limpio posible y esto se logra con la implementación de filtros ya sea húmedos o secos. El ingreso de material particulado en el interior del motor puede provocar daños significativos en el motor lo cual se ve evidenciado en el rendimiento. La humedad relativa del ambiente es otro punto para tener en cuenta; un filtro húmedo es más propenso a que las partículas que retiene se impregnen y pierda su eficiencia, lo que genera aguas arriba de este elemento, es decir, en los cilindros y pistones se tengan problemas como mala combustión, lo que lleva a problemas mecánicos y ambientales.

En los ambientes mineros la duración de un filtro de aire es muy reducida y esto es debido a la saturación que se presenta en cada elemento filtrante, ocasionado por la humedad relativa del interior de las labores mineras. El exceso de humedad hace que el papel filtrante comience a absorber esta humedad y debido a la gran cantidad de flujo de aire (CFM) que necesita un motor para poder funcionar y garantizar la combustión, sea un factor que ayude a la disminución de la vida útil de cada elemento. Con el uso continuo de un motor en un ambiente como este debido a todo lo anterior, es necesario evidenciar los factores mínimos requeridos para garantizar el buen funcionamiento del motor; al operar un motor en estas condiciones es evidente que en los gases

de escape se encontraran elementos como los HC y CO, debido a que la cantidad de combustible es poca y se debe de mantener una relación estequiométrica para garantizar que por cada cantidad de parte de aire (oxigeno), queme completamente una partícula de combustible.

Una vez estos HC en el ambiente, que son micropartículas de hollín generadas por una mala combustión, no son extraídas del interior de los ambientes mineros rápidamente y al quedarse en el interior de la mina por falta de la circulación de aire, al pasar otro equipo este es aspirado por el sistema de admisión y retenido por el elemento filtrante y así es como el ciclo se repite varias veces hasta saturar completamente cada filtro y afectar la durabilidad.

Por tales motivos es necesario que en las actividades mineras subterráneas en las cuales se quiera implementar una extracción con equipo con motor a combustión es necesario la implementación a la mano del desarrollo minero, de un sistema de ventilación eficiente para así garantizar tanto el ingreso de aire limpio para la combustión como para ayudar a barrer y extraer el aire viciado del interior.

El comportamiento que se ha comentado que pasa en cada motor se ha logrado evidenciar y poder hacer el seguimiento debido a la tecnología que tiene la camioneta Hilux 2019; esta camioneta al contar con todo el control electrónico que ayuda a mantener la combustión en el punto correcto se ha logrado evidenciar un alto CO en sus gases de escape lo que da una indicación que siempre esta operado bajo una mezcla rica de combustible.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Identificar la causa del cambio excesivo de filtros de aire tomando la evidencia de la tecnología de la camioneta Toyota Hilux 2020.

1.2 Objetivos Específicos

Identificar la causa que afecte el buen funcionamiento de los filtros.

Mejorar y corroborar los factores que influyen para mejorar una ventilación efectiva tanto en extracción como en inyección de aire en el interior de la mina.

Comparar resultados obtenidos por los cálculos y tablas y estimar las mejoras que se puedan implementar para prolongar la vida útil de los filtros de aire.

2. Cuerpo del Trabajo

2.1 Marco Referencial

Son pocos los escritos que se tienen en existencia sobre las causas en minería subterránea que trate el tema puntualmente, pero en las minas que se tienen en explotación actualmente es una constante el activarse de un momento a otro el alto consumo de filtros de aire.

Como punto inicial el filtro de aire es el elemento que ayuda a frenar que partículas ingresen a los cilindros del motor para evitar daños prematuros debido al material extraño en los cilindros de motor, como se cita en documento relacionado “un filtro muy sucio por descuido en la renovación o bien porque se circula por ambientes polvorientos, hará que cada vez pase menos aire y la mezcla se siga enriqueciendo hasta hacer perder potencia al motor, con aumento en el consumo de combustible; además el aceite hará de renovarse antes por excesiva dilución. Esto

hará que la combustión se realice de manera incompleta. Un aumento de solo el 10% en el consumo de combustible provoca la producción de espesos humos en el escape y de carbonilla en los cilindros e inyectores" (Fran-Benz,2005, p.3). Cómo se menciona en el artículo, son los factores que se han presentado con los equipos mecanizados de inyección Diesel en el interior de la mina y se enfatiza este comportamiento en los frentes ciegos.

Los filtros de aire ayudan y evitan la entrada de material particulado al interior del motor lo cual es de vital importancia tener presente en los diferentes ambientes en que este estará en funcionamiento, según el *handbook diésel engine* "es el elemento que proporciona protección contra el desgaste ya que el ingreso de material puede provocar depósitos de partículas en las paredes del sistema de escape y en las paredes del turbocompresor" (Klaus, Mollenhauer, Helmut Tschoeke, 2010, p.387).

La importancia de un filtro de aire en buen estado es la clave para la duración y poder mejorar las condiciones de operación de un motor Diesel. Si no se presta atención a la saturación del elemento filtrante, la presencia de gases y micropartículas por el sistema de escape es inevitable.

Se parte de la relación estequiométrica de aire/combustible para lograr quemar completamente el combustible en el interior del motor a combustión; la combustión de los motores Diesel es una reacción termoquímica, un motor diésel trabaja con un exceso de aire. Otro punto que se puede analizar, son las emisiones de la reacción al quemar el combustible Diesel, que depende a gran medida de la forma como se haya quemado el combustible, la temperatura/presión son la clave para la generación de productos como CO y los NOx, todo depende de las condiciones operacionales en que se encuentran.

La aparición de CO es el resultado de una mala combustión debido a la poca presencia de oxígeno, en la cual los átomos del carbono del combustible quedan unidos al O del aire. Este es uno de los factores que más se entrara a analizar debido a las características particulares que se tienen en el interior de las minas, en donde la ventilación es defectuosa.

Se tiene qué para las condiciones para operar motores de combustión en interior de obra minera, es necesario asegurar el caudal de aire; parte de este es utilizado para la combustión si se cuenta con equipos móviles; este valor está en los 6 m^3/min (211cfm) por HP, todo esto depende de los niveles en que se tenga el % de CO en el interior de la obra minera.

2.1.1 *Método.*

La metodología utilizada se basará en la verificación de un hecho ocurrido y se desarrollara con datos de observaciones que se ha obtenido durante un periodo de tiempo determinado.

Se comenzará analizando los datos de medición de gases realizado por el área OH&S de la compañía, en la cual se presentan los resultados tabulados de las mediciones semanalmente, se solicita la mayor cantidad de datos obtenidos en estas mediciones.

Con base a las mediciones se comenzará a verificar en que ubicaciones de la mina son los que más laboran los diferentes equipos y así poder hacer un mapeo de las ubicaciones de la mina donde es mayor la concentración.

Con el mapeo se relacionarán las horas de trabajo de los equipos en cada frente y se compararán con las mediciones de ventilación en los distintos frentes ciegos para así realizar una comparativa de que equipos son los que más han disparado el cambio de filtros.

Se descarga la información del CMMS y se comenzara a compilar la información de cada equipo, enfocándose en la camioneta Hilux, para tener la frecuencia entre cambio de filtros de aire, verificando los puntos de mayor tránsito.

Con estos datos se comenzarán a validar la(s) causa(s) que afecta(n) este componente y el efecto que genera tanto al entorno interno de la mina como los efectos que genera en el motor. Es de anotar que, en un motor, el indicador que nos relaciona que está realizando una buena combustión y que esa transformado su energía térmica en energía mecánica es la presencia de CO2. Con el CO2 vienen ligados los NOx que son provocados por las altísimas temperaturas y es indicador de que el motor está quemando el aire antes de la combustión, pero esto es controlado por la válvula EGR.

Planteando lo anterior se propondrán las mejoras pertinentes, como son instalación de indicadores de saturación, verificación del cambio de elemento filtrante y mejora del sistema de ventilación al interior de la mina. Para que la solución sea efectiva, es necesario un trabajo interdisciplinar. Se debe contar con actividades que se salen del alcance de mantenimiento y en la cual se deben de hacer modificaciones en el sistema de ventilación.

2.1.2 *Resultados.*

El proceso para extracción de mineral del interior de las minas de la compañía Gran Colombia Gold, se da por medio de equipos móviles con motor diésel, la complejidad en la operación de los motores en estos ambientes hace que las labores de mantenimiento sean cada vez un reto debido a las condiciones operacionales, lo cual se traduce en trayectos más largos, profundizando más en el desarrollo de las labores mineras; trae consecuencias que afectan directamente a la mantenibilidad de los equipos.

Actualmente Gran Colombia Gold cuenta con una flota en la mina providencia de 7 equipos con motorización diésel que se distribuyen así: 2 cargadores bajo perfil scoop LH203,1 scoop MTI, 2 dámper YMC 7T, 1 camioneta Hilux Toyota y 1 minicargador Terex. Con el aumento de la flota de equipos y la expansión de las actividades mineras, se ha venido presentando y agravando el problema del alto consumo de filtros de aire, y con ello un aumento de HC.

El alto consumo de filtros de aire que se tiene en estos momentos en la mina Providencia no es producto inicialmente a defectos mecánicos, propios de los equipos debido al uso y desgaste de los componentes, lo cual se enfoca en el alto CO y HC que son resultado de las pruebas de gases realizada el 2 mayo en el interior de la mina. (figura 1)

Figura 1.

Prueba de gases efectuada en mina providencia 2

Código:	GRANCOLOMBIAGOLD						Versión: 01
Fecha: Abril -2019							
No Controlado	REPORTE PARA MEDICIÓN DE EQUIPO DIESEL						Página 1 de 1
RESPONSABLE DE LA MEDICIÓN:	Jorge Castellanos		REVISÓ:		Milton Rozán	MINA	Providencia
FECHA DE LA MEDICIÓN:	2/05/2020		FECHA DEL REPORTE:		2-may		
Fuente de la emision	Item	Hora de la medicion	Valor de la medicion				Observaciones
			CO (ppm)	NOx (ppm)	CO2 (%)	Oxigeno (%)	
Scoop LH203 N.10	1	9:40:00 a. m.	835	120	2.1	18.1	CO por encima del límite permisible
Scoop MTI	2	9:51:00 a. m.	822	85	2.2	18.0	CO por encima del límite permisible
Scoop LH203 N.2	3	9:42:00 a. m.	443	199	1.7	18.6	Sin observaciones
Dumper YMC N3	4	9:32:00 a. m.	234	107	1.8	18.5	Sin observaciones
Dumper YMC N1	5	9:14:00 a. m.	354	118	1.7	18.6	Sin observaciones
Camioneta Hilux	6	8:42:00 a. m.	1,007	88	2.0	18.3	CO por encima del límite permisible
BobCat	7	8:54:00 a. m.	168	144	1.8	18.5	Sin observaciones
LIMITE MAXIMO PERMISIBLE (PPM)			800				

Nota: el cuadro anterior refleja las mediciones realizadas en el interior de mina a los equipos de la mina providencia donde se evidencia el máximo de ppm de cada equipo. Tomado de área OHyS.

El problema que se presenta se enfoca desde dos puntos, lo que tiene relación directamente y es el factor responsable en el aumento del consumo de elementos filtrantes.

1) – Efectos del CO en el alto consumo de filtros de admisión.

2)- Producto de CO en los gases de escape.

Son varios los factores que influyen, entre los cuales está la humedad relativa, el flujo de aire (CFM) requerido por equipo y alta temperatura son factores que intervienen y afectan en el motor diésel para realizar la combustión. Los efectos de la humedad relativa del interior la mina; según datos del área de planeación, está en 83% al 93%, sumado a altas temperaturas son factores que ayudan a deteriorar prematuramente los elementos filtrantes del sistema de admisión.

El filtro que actualmente se utiliza para estos equipos es de papel, al momento de comenzar la etapa de succión de un motor, el aire va con esta humedad la que se adhiere al papel del filtro (todo papel filtrante debe cumplir con características mecánicas para este propósito, no es un papel normal), al llegar al porta filtro, que está ubicado en el mismo compartimiento del motor, las temperaturas son altas lo cual hace que por conducción y radiación, parte de esa humedad se quede en el filtro, la humedad con la ayuda de los HC presentes como hollín se queden impregnados en el filtro. Al seguir aspirando el motor las partículas del ambiente se quedan impregnadas generando que no entre el suficiente aire para realizar la mezcla con el combustible y como productos de gases de escape se obtenga índices altos de CO y HC.

La alta temperatura y la humedad relativa juegan un papel importante en el proceso de combustión de un motor, es de recordar que para cualquier gas con el aumento de la temperatura la densidad disminuye. Se adjunta tabla donde se ve la variación de la densidad del aire teniendo en cuenta la humedad relativa y la temperatura.

Tabla 1.

Comparación del comportamiento de la densidad del aire respecto a la densidad y la humedad relativa del ambiente

% Humedad relativa	*Tº C*	*densidad (kg/m³)*	*% Humedad relativa*	*Tº C*	*densidad (kg/m³)*
93%	20	1.194	40%	20	1.2
	30	1.147		30	1.157
	40	1,098		40	1.115
	50	1.046		50	1.072
	60	0.986		60	1.028

Como se puede apreciar, la humedad y temperatura afectan el desempeño de un motor debido a que la densidad del aire se ve afectada por estas dos variables, debido a esto, para las razones estequiométricas el aire es manejado por unidades de flujo masico (Kg/m^3), no es lo mismo

mover 1 m^3/min de aire en flujo volumen a mover 1 m^3 en flujo masico, con relación a la masa en un metro cubico se movería menos masa de aire.

Producto de CO en los gases de escape.

Para este punto se está enfocando en la emisión de la camioneta, debido a que esta camioneta cumple con los requerimientos de la norma de emisiones de la EURO 4, el sensor de oxígeno ubicado en el múltiple de escape envía información a la computadora acerca de cómo están saliendo los gases de escape y corrigiendo la relación aire combustible exacta según la posición del acelerador, esto lo hace en milésimas de segundo.

Con base a este hecho es que se debe realizar el análisis del porque aumentó el CO de este equipo.

Es necesario conocer que el aumento de CO es indicativo que la mezcla es rica, la cual carece de oxígeno; este tipo de mezcla es útil siempre y cuando se necesite más potencia y es de anotar que los motores Diesel están diseñados para trabajar con mezcla pobre ya que son motores que operan con exceso de aire. Es necesario conocer el flujo de aire requerido por el motor (CFM), el % de oxígeno, las condiciones de temperatura y humedad (anteriormente se explicó) ya que la humedad en la cámara de combustión es volumen que no ayuda en nada en la combustión, pero se refleja en la presencia de humos negros en el escape.

Para saber las CFM en condiciones normales de operación que necesita un motor se puede aplicar esta fórmula.

$$Q = k.HP$$

Donde k es 2m^3/min, aplicado a motores que funcionan en superficie

Tabla 2.

Cantidad de aire en CFM y m3/min en superficie

.

EQUIPO	CFM	m^3/min	%Oxigeno
Toyota Hilux 2019	1200	340	20
LH203 motor Deutz F6L 914	6709	190	20
MTI motor Deutz D914L04	5226	148	20

Tabla 3.

Para equipo en interior mina: K=3m3/min. (dato tomado de estudio de ventilación en mina en chile)

AIRE REQUERIDO EN CONDICIONES MINERIA SUBTERRANEA

EQUIPO	CFM	m^3/min	%Oxigeno
Toyota Hilux 2019	18590	525	
LH203 motor Deutz F6L 914	10069	285	
MTI motor Deutz D914L04	7839	222	

Como el nivel de oxígeno varía en varios frentes, es ahí donde se tiene que garantizar que las otras variables como CFM adecuadas, temperatura y humedad sean lo más cercanas a la condición de operación normal.

Teniendo en cuenta los datos de la tabla 1, donde la temperatura y la humedad afectan la densidad del aire, el caudal en estos casos es mejor llevarlo como flujo masico ya que se puede verificar que el mismo volumen se pude tener igual o menos kg de masa de aire. (el aire tenido en cuenta la mezcla de 21% de oxígeno y 79%de nitrógeno).

A continuación, se verifica lo anteriormente dicho en cada uno de los equipos afectados.

Figura2.

Variación del flujo másico con relación al aumento de temperatura y humedad.

EQUIPO	CFM	m^3/min	% Humedad relativa	TºC	densidad (kg/m^3)	kg/min
toyota hyluz 2019	18590	525	93%	20	1.194	626.85
				30	1.147	602.175
				40	1	576.45
				50	1.046	549.15
				60	0.986	517.65

EQUIPO	CFM	m^3/min	% Humedad relativa	TºC	densidad (kg/m^3)	kg/min
LH203 motor Deustz F6L 914	10069	285	93%	20	1.194	340.29
				30	1.147	326.895
				40	1	312.93
				50	1.046	298.11
				60	0.986	281.01

EQUIPO	CFM	m^3/min	% Humedad relativa	TºC	densidad (kg/m^3)	kg/min
MTI motor Deutz D914L04	7839	222	93%	20	1.194	265.068
				30	1.147	254.634
				40	1	243.756
				50	1.046	232.212
				60	0.986	218.892

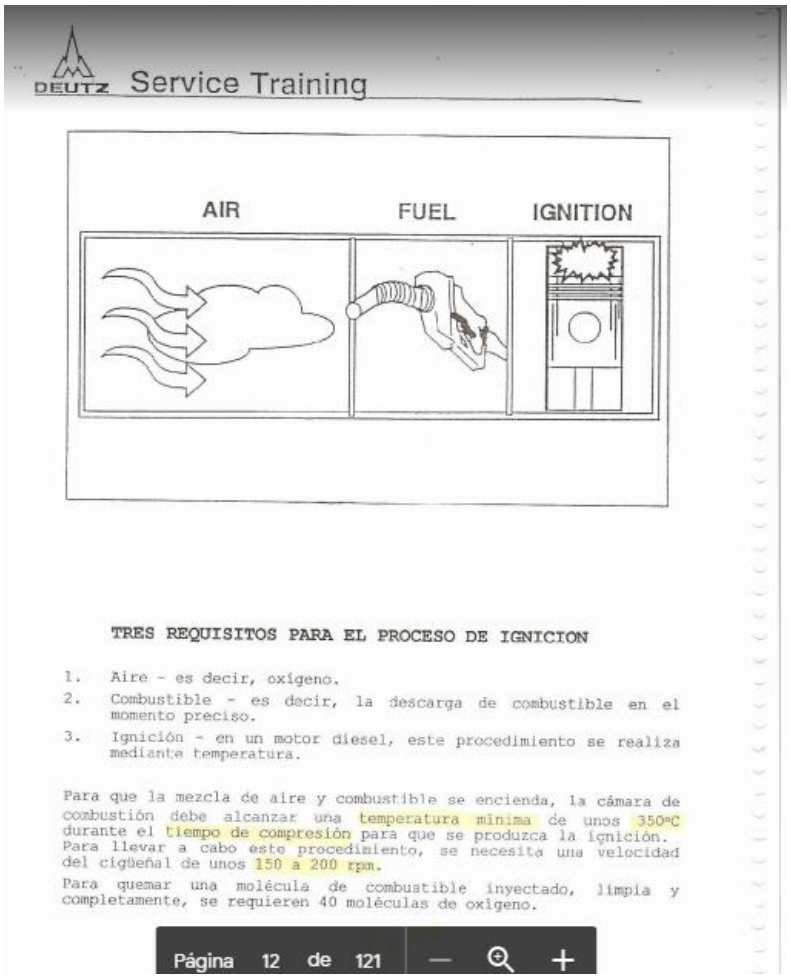
Nota: Con la figura anterior se puede ver que se puede mover el mismo volumen independiente de la temperatura, pero al compararlo con el flujo másico, son menos Kg de masa de aire que se mueven por minuto al aumentar la temperatura y la humedad.

Al verificar cada uno de estos valores el efecto de la temperatura es notable ya que en 60ªC se mueve menos masa de aire; 109kg (para la camioneta), 59kg (para el motor del LH) y 47kg (para el motor de MTI), esto teniendo en cuenta que por estequiometria la RAC relación aire combustible teórico para motor Diesel es de 14.5kg de aire por 1kg de combustible.

Es necesario realizar el análisis estequiométrico para el combustible que se tiene para saber con qué mezcla están funcionando los motores, según el manual de Camps (1998) "curso capacitación técnica para motores Deutz" en teoría la RAC para quemar una molécula de combustible se necesitan 40 moléculas de oxígeno, lo cual, al realizar el cálculo con este valor, el número de moles se obtiene:

Figura 3.

Enunciado de capacitación de servicio y training Deutz a para combustión



Nota: figura de folleto de capacitación. Tomado de Camps, (2008)

$$C_nH_m + (n + m/4)(O_2 + 3.762N_2) = nCO_2 + \frac{m}{2}H_2O + (n + m/4)3.762N_2$$

$$AC = \frac{masa\ de\ aire}{masa\ de\ combustible} = \frac{\#\ moles\ de\ aire\ * M_{AIRE}}{\#\ de\ moles\ de\ combustible * M_{COMB}}$$

Y

$$AC = \overline{AC} * \frac{M_{AIRE}}{M_{COMB}}$$

conociendo que para el aire es:

Relación molar

De: (0.21 moles de **O_2** + 0.79 moles de **N_2**)= 1 mol de **aire**

(0.21*16*2 + 0.79*2*14)= 1 mol de aire

28.97 = 1 mol de aire

$$RAC = \frac{40mol\ aire}{1mol\ combu}$$

$$RAC = 40\ mol \frac{28.97kg\ mol\ aire}{\frac{117kg}{mol}\ combustible} = \frac{10kg\ aire}{kg\ combustible}$$

Relación en masa:

Al realizar el cálculo de la RAC para 40moles de oxígeno con fórmula de la imagen siguiente:

Se tiene una RAC de 10:1, es el resultado con los datos de la imagen de manual de motores Deutz, es muy baja, por lo que se puede concluir que debe de ser para una mezcla de motor a

gasolina, pero no conocemos que tipo de combustible utilizan para este estudio por tal razón se calculó con el Diesel $C_{12}H_{26}$.

Al hacer la razón estequiométrica para con el Diesel $C_{12}H_{26}$ se tiene:

$$C_bH_d + a(O_2 + 3.77N_2) \rightarrow bCO_2 + dH_2O + fN_2$$

C – b=12

H – d= 13

O – a=(2b+d)/2 = 18.5

N – f = 3.77a =69.80

$$C_{12}H_{26} + 18.5(O_2 + 3.77N_2) \rightarrow 12CO_2 + 13H_2O + 69.80N_2$$

El valor de aire molar necesario es:

$$18.5(O_2 + 3.77N_2) = 88.33mol$$

La RAC molar es

$$RAC = \frac{88.33mol\ aire}{1mol\ combu}$$

Relación en masa:

$$RAC = 88.33\ mol \frac{28.97kg/\ mol\ aire}{\frac{117kg}{mol}\ combustible} = \frac{15\ kg\ aire}{kg\ combustible}$$

Teniendo en cuenta que como reportan en la medición realizada el 2 de mayo donde se tiene deficiencia con el oxígeno se hace este balance y se tiene.

$$18.5(O_2 + 3.77N_2) = 88.33mol$$

Relación en masa:

$$RAC = 0.82 * \ 88.33\ mol \frac{28.97kg/\ mol\ aire}{\frac{117kg}{mol} combustible} = \frac{12.34\ kg\ aire}{kg\ combustible}$$

Al verificar la relación landa se tiene:

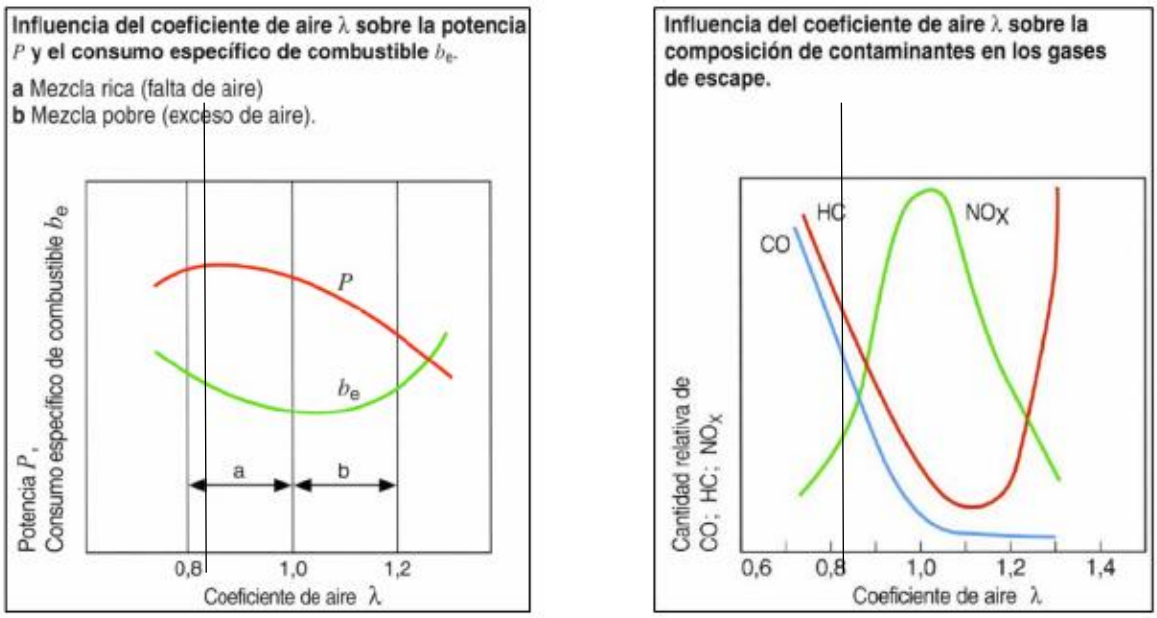
$$\lambda = \frac{Masa\ aire\ aportado\ real}{Masa\ de\ aire\ estequimetrico} = \frac{12.34}{15} = 0.82$$

Se evidencia que la mezcla es completamente rica. Por lo tanto, avala el fenómeno que se está presentado alto CO Y HC que se evidencia en la saturación de los filtros.

Mezcla	%	Consecuencias
Rica	<0,75	El motor se ahoga y la mezcla no inflama por lo que el motor deja de funcionar
	0,75 ÷ 0,85	Mezcla demasiado rica, que en uso instantáneo, proporciona incrementos de potencia
	0,85 ÷ 0,95	Potencia máxima en régimen contínuo (pendiente, adelantamientos, etc.)
Normal	0,95 ÷ 1,05	Conducción normal (regímenes de crucero)
Pobre	1,05 ÷ 1,15	Mínimo consumo con ligera pérdida de potencia
	1,15 ÷ 1,30	Disminución considerable de potencia con aumento de consumo por pérdida de rendimiento
	>1,30	El motor no funciona, no se propaga la llama

Figura 4.

Rangos de mezcla dependido de la relación lambda

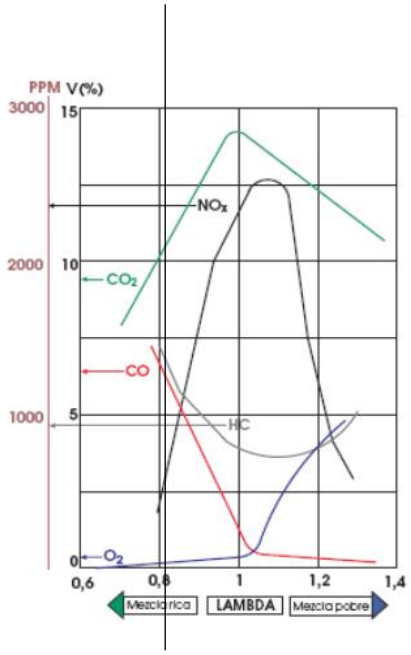


nota: tomado de Nina, (s.f.). Teoría de la combustión. (p.12).

En las gráficas siguientes se aprecia el efecto de mezcla rica en la generación de gases de escape. Es de anotar que si se baja más del 0.82 el motor entrara en etapa de ahogo y la mezcla no inflamara.

Figura 5.

Efecto de lambda en la generación de HC en los gases de escape

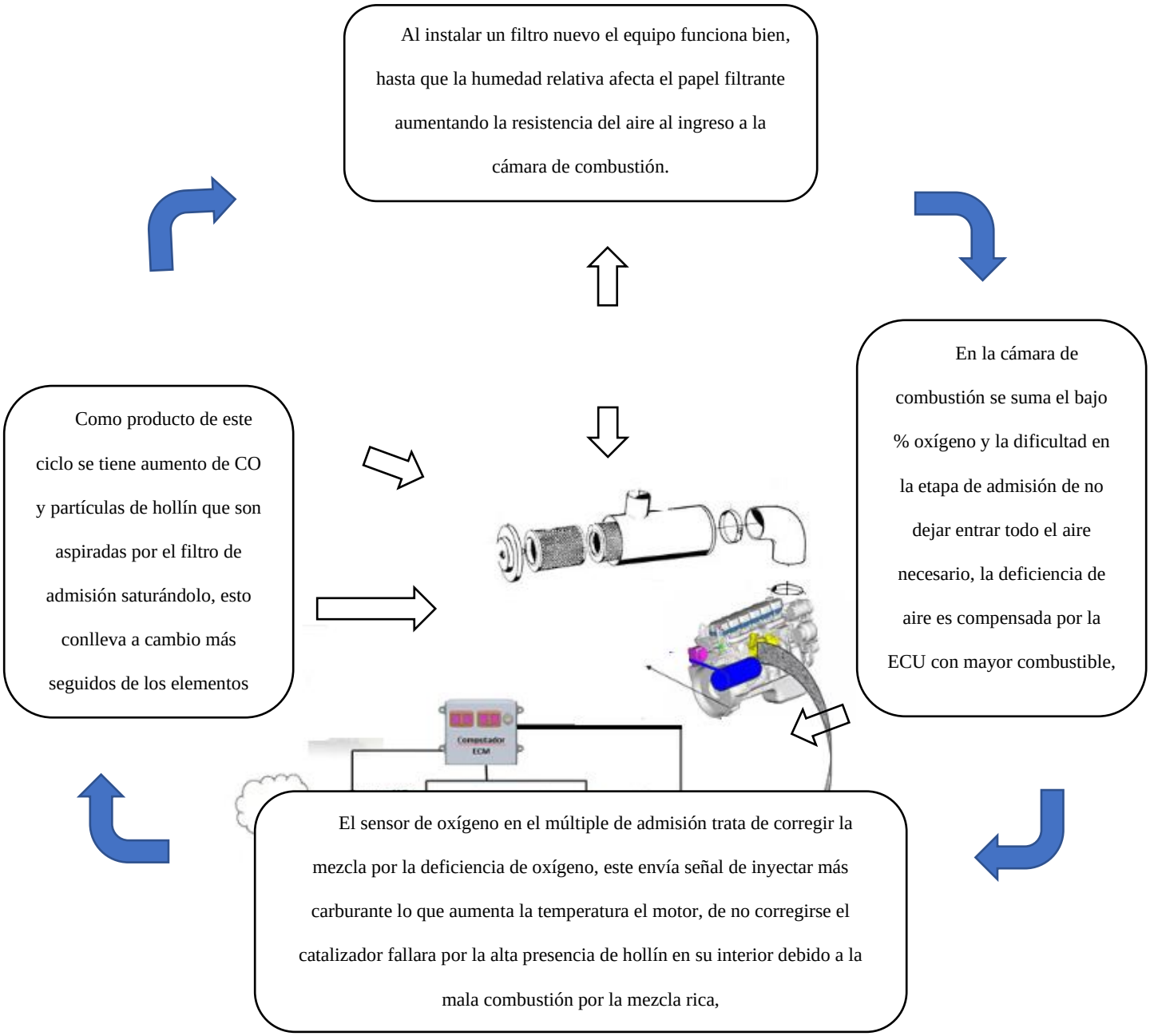


nota: tomado de Nina, (s.f.). Teoría de la combustión. (p.10).

En la siguiente grafica se ve el punto donde están la camioneta Hilux, que es el resultado de la RAC por estequiometria vs la real, por lo tanto, se evidencia desde la curva que se puede dar respuesta a la producción de HC. Teniendo en cuenta que este motor de camioneta tiene incorporada la norma EURO 4, la que controla la mezcla con la ayuda de la electrónica con sensores aumentando o disminuyendo la inyección de combustible, a diferencia de los motores de los otros equipos en la cual la inyección de combustible es constante.

Figura 6.

Resultado teórico de la combustión que esta presentado en la camioneta hylux para las altas ppm de CO y HC.



Nota: tomado de https://es.slideshare.net/afirstxtrem/analisisdegases-124109854 (p.5)

Con el resultado de la relación lambda y al trazar una línea en el valor de 0.82 como esta en la gráfica, se puede interpretar lo que está ocurriendo, a pesar de que los equipos no presentan síntomas de falta de potencia, son altas las emisiones de CO, HC como lo dice en la prueba de gases.

Es de anotar que en los resultados de gases la presencia de CO nos indica que el proceso es endotérmico, donde los reactivos nos roban el poder calorífico, presentando consecuencias como mayor aumento de temperatura.

En los resultados de emisiones de gases el valor que nos indica que la energía del combustible es utilizada como trabajo es el CO^2, este proceso es exotérmico donde toda la energía es entregada por el reactivo.

Para concluir lo que se está experimentando en estos momentos es el resultado de un ciclo repetitivo en el que intervienen varios factores y se resume a continuación:

Resumen del efecto presentado para el aumento de CO y HC con consecuencia de alto consumo de filtros de aire. Nota: autoría

Para mejorar y aumentar la durabilidad de los elementos filtrantes, es necesario corregir la humedad relativa con suplementos que se instalan en la succión antes de llegar al filtro como separadores en línea lo cual puede bajar la humedad un 80%. Cambiar los filtros existentes por materiales sintéticos que ayudan a detener la humedad perno no afectan el rendimiento.

Garantizar el flujo de aire requerido por cada equipo con un % de oxígeno de 21% para poder garantizar una relación AC lo más cercano a 1, si se logra esto los niveles de CO y los HC bajan, lo que optimiza los tiempos de cambio de los elementos filtrantes mejorando las condiciones del interior de la mina.

Con los datos de los niveles de CO obtenidos con las mediciones, también a pesar que se encontró que los niveles de CO son altos y que los HC ayudaron a la obstrucción de los filtros, se ha encontrado que el método de medición no es el más idóneo por lo que se cae en errores al momento de determinar cual equipo se debe de enviar al taller, para la correcta medición de la emisión de gases del equipo, esta debe de hacerse tomando todos los gases de escape conduciéndolos por una manguera al equipo analizador; la medición de CO tomado en el ambiente no es la forma correcta por este método, se están tomando partículas de otros vehículos que se encuentren en el lugar de la prueba.

3. Conclusiones

Los dos problemas que se presentan en estos equipos son causa- efecto, al mejorar las condiciones de operación se verán reflejados en los productos del otro, esto será un ciclo repetitivo. Se debe garantizar y comenzar con las condiciones de % de oxígeno y CFM necesarias para cada equipo.

Se tomó la camioneta como objeto de estudio debido a que esta tiene instalados los sensores que ayudan a mejorar los gases de escape debido a la tecnología de la motorización con que cuenta, esta cumple con la norma EURO4. Los otros motores son de inyección constante no se tiene un sensor que ayude a regular la mezcla en estos equipos, la temperatura debe ser aún mayor debido a que al momento que se esté llegando a tener falta de aire o ahogamiento por la mezcla tan rica, el operador aumenta la mezcla oprimiendo el acelerador inyectando más combustible al equipo, todo esto es reflejado en los altos consumos de Diesel en la operación.

Referencias Bibliográficas

Camps, P. (1998). Curso capacitación técnica para motores Deutz. Obtenido de: https://www.maquinariaspesadas.org/blog/167-curso-capacitacion-tecnica-motor-deutz.

Cascajosa, M. (2001). Ingeniería de vehículos: Sistemas y cálculos. *Revista DYNA*, *76*(3), 56-58.

Cerro Rico. (2006). Sostenimiento en Minería subterránea. Obtenido de: http://geco.mineroartesanal.com/tikidownload_wiki_attachment.php?attId=637.

Charaja, J. J. (2020).

Ciria, J. I. (2004). *Estudio de la combustión en motores Diesel*. Wearchek Ibérica. Obtenido de: https://www.kimerius.com/app/download/5783855617/Estudio+de+la+combusti%C3%B3n+en+motores+diesel.pdf.

Edu Xunta. (s.f). *Análisis de gases.* Obtenido de: https://www.edu.xunta.gal/centros/cifpsomeso/system/files/ANALISIS+DE+GASES.pdf.

Kike. (2008).

Mollenhauer, K., & Tschöke, H. (Eds.). (2010). *Handbook of diesel engines* (Vol. 1). Berlin: Springer.

Nina, Ch. (s.f). *Teoría de la combustión*. Obtenido de: https://ingjjnina.jimdofree.com/app/download/6026560918/Act.+de+Aprend.+N%C2%B0+5+Teoria+de+la+Combustion.pdf?t=1524756422&mobile=1.