



**REDUÇÃO DE EMISSÕES EM EMPILHADEIRAS A GLP
UTILIZANDO ANÁLISE RÁPIDA DOS GASES DE ESCAPE**

CATEGORIA: SAÚDE

**PRÊMIO GLP DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA
EDIÇÃO 2020**

**REDUÇÃO DE EMISSÕES E AUMENTO DA EFICIÊNCIA EM
EMPILHADEIRAS A GLP UTILIZANDO ANÁLISE RÁPIDA DOS
GASES DE ESCAPE**

CATEGORIA: SAÚDE

Autores Liquigás Distribuidora:

Adilson Heck

Alyne Freitas

Élcio Augusto Rocha Sarti

Jeison Limas

Marcel Stéfano Zola Ramin

Marcos Antônio dos Santos

Natália de Almeida Menezes

Sumário

Histórico da empresa	3
1 Problema	4
2 Objetivos	4
3 Materiais e Métodos	4
4 Definições.....	5
4.1 Resíduos de GLP e empilhadeiras	5
4.2 Redutor/Converter de empilhadeiras	6
4.3 Carburador.....	7
4.4 Motor de combustão interna para empilhadeiras a GLP	8
4.5 Análise dos gases de combustão	9
5 Resultados e Discussões	10
6 Conclusões.....	11
7 Bibliografia.....	12

Histórico da empresa

A Liquigás, fundada em 1953, foi adquirida pela Petrobras Distribuidora S.A. (BR) em agosto de 2004 e, em novembro de 2012, após uma reorganização societária, passou a ser subsidiária direta da Petrobras S.A. Desde a integração ao Sistema Petrobras, a Liquigás consolidou sua liderança no mercado de botijões de 13 kg - os mais usados em residências para o cozimento de alimentos e sua posição como uma das maiores distribuidoras de GLP no país. Conta atualmente com 3250 funcionários.

Atende mensalmente mais de 35 milhões de consumidores residenciais, com soluções que abrangem desde variados tamanhos de embalagens, como os botijões de 8 e 13 kg, para o gás de uso doméstico (Área de GLP Envasado) até o fornecimento de produtos e serviços sob medida aos mais diversos setores da indústria, comércio, agricultura, pecuária, aviários, condomínios, hotéis, entre outros (Área de GLP Granel).

A Liquigás conta com 23 Centros Operativos, 19 Depósitos, 1 Base de Armazenagem e Carregamento rodo-ferroviário, 4 unidades de envasamento em terceiros e uma rede com aproximadamente 4.800 revendedores autorizados, além de sua Sede, na cidade de São Paulo (SP).



Figura 1 - Centro Operativo de Capuava - Fonte: Liquigás Distribuidora S.A.

1 Problema

- Analisar a eficiência energética de uma empilhadeira e regular o sistema para um desempenho ótimo;
- Diagnosticar se existe risco operacional de exposição à monóxido de carbono para a operação das empilhadeiras em ambientes fechados.

2 Objetivos

- Avaliar, através de uma rápida análise dos gases do escapamento, a eficiência energética de uma empilhadeira;
- Regular o sistema para obter um rendimento ótimo da máquina;
- Reduzir a exposição dos operadores ao monóxido de carbono, sobretudo em áreas com menor circulação de ar.

3 Materiais e Métodos

Para tomada de valores do estudo como, por exemplo, temperatura, velocidade do ar, umidade, etc, foram utilizados os equipamentos descritos abaixo:

Velocidade do ar:

- Instrumento: Anemômetro

Pressão do ar:

- Instrumento: Tubo de pitot e Micromanômetro

Temperatura de superfícies:

- Instrumento: Termômetro por infravermelho

Mapeamento da temperatura:

- Instrumento: Termovisor por infravermelho

Análise dos gases de exaustão:

- Instrumento: analisador de gases

A análise dos gases de combustão da empilhadeira foi realizada, posicionando-se a sonda do analisador de gases no tubo de escape da empilhadeira, com aceleração do motor da empilhadeira em torno de 2.000 rpm.

4 Definições

4.1 Resíduos de GLP e empilhadeiras

De acordo com a Resolução ANP N° 18, de 02/09/2004, o GLP comercializado no Brasil pode conter um limite de 0,05% (500 ppm) de resíduos presentes em sua composição. Sendo assim, essa quantidade de resíduos é considerada parte do produto entregue às distribuidoras e pode preceder alguns cuidados nas instalações e aplicações, evitando uma possível concentração para garantir o bom funcionamento dos sistemas.

Em relação às empilhadeiras, durante o curso da operação normal, resíduo oleoso pode ser observado dentro das câmaras do componente vaporizador e regulador de pressão, também chamado de redutor ou converter.

Resíduos sólidos são retidos por filtros mecânicos com função magnética instalados na linha de combustível das empilhadeiras.

A maior ou menor concentração de resíduos pode ser o resultado da contaminação do combustível ou variação regional de sua composição, tal como acontece com outros combustíveis líquidos e gasosos.

Um significativo acúmulo de resíduo sólido pode afetar o desempenho do filtro mecânico e estrangular a passagem do GLP, enquanto o acúmulo de resíduo oleoso pode afetar o desempenho de resposta do diafragma secundário.

Na Figura 2 abaixo, podemos identificar um circuito de GLP em uma empilhadeira, destacando o filtro e o regulador (redutor/converter).

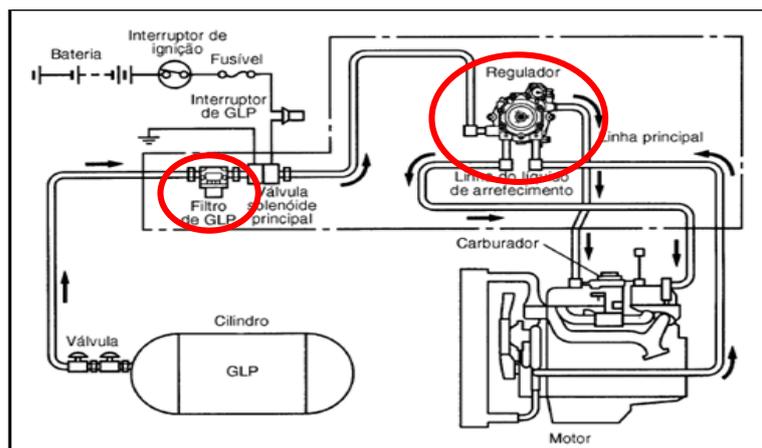


Figura 2 - Circuito de GLP em uma empilhadeira, destacando filtro mecânico e regulador (redutor/converter). Fonte: Toyota, 2009.

Os fabricantes de empilhadeira incluem em sua rotina de manutenção periódica usual a limpeza e drenagem dos filtros mecânicos e do redutor/converter. Ler e seguir o manual é o requisito mínimo para manter as garantias de desempenho e de emissões, no entanto, a depender da concentração de resíduos observada durante a limpeza do converter, uma maior frequência de parada é recomendada. É nesse momento que uma análise dos gases de exaustão da empilhadeira pode facilitar o diagnóstico, antes de uma parada completa do equipamento, como será detalhado nos itens a seguir.

4.2 Redutor/Converter de empilhadeiras

O converter proporciona condições para uma mudança da fase líquida do GLP para a fase gasosa, utilizando, para isso, aumento de temperatura e redução de pressão, isto é, tem a função de reduzir a pressão e vaporizar o GLP líquido num bloco único.

A energia necessária à vaporização é fornecida pela passagem do fluido do arrefecimento do motor de combustão interna.

Em meio a mudança da fase líquida para a fase gasosa, resíduos oleosos podem vir a se concentrar no interior do converter e o acúmulo em grandes proporções interfere no funcionamento da empilhadeira, podendo inclusive deixá-la inoperante.

Na Figura 3 é mostrado um modelo de converter utilizado em empilhadeiras Toyota, mostrando os parafusos de ajuste de marcha lenta e ajuste de pressão de saída. O parafuso de ajuste de pressão não foi manipulado neste estudo.



Figura 3 - Converter de uma empilhadeira Toyota; a) Parafuso de ajuste de vazão de marcha lenta; b) Parafuso de ajuste de pressão de saída de GLP. Fonte: os autores, 2019.

Antes de ficar inoperante, ou falhar, a empilhadeira pode sofrer com baixo rendimento e conseqüente maior consumo de GLP.

Na Figura 4, abaixo, é mostrado um caso de concentração de resíduo oleoso no circuito interno de um converter de empilhadeira.



Figura 4 - Concentração de resíduo oleoso na câmara interna de um converter de empilhadeira a GLP. Fonte: os autores, 2019.

4.3 Carburador

O carburador é um elemento importante do sistema de alimentação do motor a combustão a GLP.

Este elemento trabalha acoplado ao filtro de ar e à segunda câmara do regulador/converter.

Ao funcionar o motor impõe uma depressão na câmara de pré-mistura, admitindo ar proveniente da câmara do filtro e vapor de GLP em volume proporcional proveniente da câmara do converter.

Quanto maior aceleração maior o volume requerido de ar e proporcionalmente o combustível.

O carburador possui dois parafusos de ajuste: de regulagem da mistura ar combustível e o de injeção de marcha lenta.



Figura 5 - Carburador e seu parafuso de ajuste de vazão da mistura ar/combustível em destaque; a) Parafuso de regulagem mistura ar/combustível; b) Parafuso de injeção de marcha lenta. Fonte: os autores, 2019

4.4 Motor de combustão interna para empilhadeiras a GLP

O motor de combustão interna (MCI) utilizado nas empilhadeiras a GLP estudadas são do tipo de ignição por faísca (centelha), modelados pelo ciclo Otto com câmara de combustão alimentada com pré-mistura ar/combustível.

A pré-mistura ar/combustível é realizada por carburador ajustado manualmente ou eletronicamente.

Um MCI, no entanto, tem perdas de energia intrínsecas ao seu funcionamento, sendo um reator imperfeito.

O MCI é uma máquina volumétrica de transforma a energia química do combustível em trabalho mecânico, porém parte daquela energia fornecida pelo combustível é usada para manter o ciclo funcionando e outra parte é perdida na forma de calor e ruído.

Na Figura 5a é mostrado um esquema dos fluxos de energia e massa num MCI e, na Figura 5b, o motor estudado neste trabalho.



Figura 6 – a) Fluxos de massa e energia em um MCI; b) Motor Toyota estudado. Fonte: Brunetti, 2012; os autores, 2019.

Desta forma, este trabalho, visa analisar o desempenho energético baseado na análise dos gases de combustão queimados na saída do escapamento, mantendo o regime de trabalho constante a 2.000 rpm e testando a performance da empilhadeira com a mesma carga, antes e depois da intervenção.

Para uma análise de eficiência energética, a regulagem da relação ar/combustível e a redução dos níveis de CO para a faixa considerada ideal trará uma economia de combustível.

4.5 Análise dos gases de combustão

A análise dos gases de exaustão possibilita um diagnóstico completo do sistema de combustão interna do equipamento. Pode-se avaliar, por exemplo, a

eficiência energética da queima, determinando se a regulagem do carburador está adequada para a quantidade de ar admitida na câmara de combustão. Isso é feito através da avaliação de parâmetros como CO e CO₂.

5 Resultados e Discussões

Para esse estudo foram analisadas empilhadeiras Toyota, em operação normal, que seguiam o cronograma de manutenção recomendado pelo fabricante. Os resultados obtidos foram:

ANÁLISE DE GASES DE COMBUSTÃO	
Valores Medidos	
T _{gases de combustão}	207,7 °C
T _{ambiente}	35,2 °C
O ₂	1,1 %
CO	48380 ppm
NO	1315 ppm
NO _x	1301 ppm
SO ₂	0 ppm
CO ₂ IR	4,22 %
C _x H _y	0,46 %

Tabela 1 - Análise dos gases de exaustão da empilhadeira Toyota, antes da regulagem e limpeza.

Após a análise, o sistema de admissão de ar e filtros foram limpos e o carburador e converter foram regulados visando o desempenho ótimo do sistema hidráulico e de deslocamento e aceleração da máquina. Ao término da regulagem, nova análise foi feita, obtendo-se os seguintes resultados:

ANÁLISE DE GASES DE COMBUSTÃO	
Valores Medidos	
T _{gases de combustão}	207,7 °C
T _{ambiente}	35,2 °C
O ₂	1,0 %
CO	1081 ppm
NO	1473 ppm
NO _x	1548 ppm
SO ₂	56 ppm
CO ₂ IR	12,44 %
C _x H _y	0,08 %

Tabela 2 - Análise dos gases de exaustão da empilhadeira Toyota, após regulagem e limpeza.

Os resultados obtidos, sobretudo na baixa das emissões de CO, representam uma economia de 5 a 10% do consumo de combustível da máquina. Além disso, a faixa de emissão de monóxido de carbono fica suficientemente baixa para se diluir com segurança no ar ambiente e não atingir os limites estabelecidos para segurança dos operadores e funcionários que trabalhem nas áreas em que as empilhadeiras circulam.

A limpeza e regulagem do sistema também permitiram uma redução considerável de hidrocarbonetos não queimados, o que, por si só, representa diretamente uma economia no GLP consumido, aumentando a eficiência do sistema.

O ajuste fino que foi realizado no carburador e converter só foi possível através da análise dos gases de exaustão. Sem essa análise, o ajuste é feito apenas pelo número de voltas nos parafusos de regulagem recomendado pelo fabricante, o que pode se tornar insuficiente, já que o sistema todo está sujeito a desgastes, folgas e vibrações.

Ainda, foi avaliado que empilhadeiras que trabalham com sistema de injeção eletrônica não permitem a regulagem da mistura ar/ combustível, que é feita pelo controlador eletrônico. Os parâmetros desse controlador são fixos e não existe acesso à essa programação, a não ser pelo próprio fabricante. Assim, o ganho de eficiência nessas máquinas é menor, quando comparadas às máquinas carburadas.

6 Conclusões

Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que:

- É de suma importância que as manutenções preventivas da empilhadeira sejam realizadas com a frequência mínima recomendada pelo fabricante, sobretudo o sistema de admissão de ar e combustível. No entanto, conforme observamos nas análises realizadas, a redução do número de horas de operação dessas máquinas, ou aumento da frequência de parada, garantem uma maior eficiência energética;

- Os principais fatores que podem reduzir significativamente a eficiência desses equipamentos são: obstruções no sistema de admissão de ar, presença de resíduos no converter e regulagem indevida no carburador e converter quanto à mistura ar/ combustível;
- Empilhadeiras que possuem o sistema carburado possibilitam um ajuste mais completo do que as que possuem o sistema de injeção eletrônica, já que essas últimas não permitem o ajuste fino da relação ar/combustível;
- Apesar do ganho de eficiência energética da ordem de 5 a 10%, a regulagem e limpeza adequada dessas máquinas traz como principal resultado a segurança dos operadores e funcionários que trabalham nas áreas de operação dessas empilhadeiras, uma vez que o teor de CO emitido pode facilmente atingir os limites de segurança estabelecidos por norma. Um equipamento em perfeito estado de manutenção é mais eficiente e, portanto, econômico, além de mais seguro para os funcionários da operação.

7 Bibliografia

- [1] - OH&S (Estados Unidos) (Comp.). Controlling Forklifts' Exhaust Emissions. Occupational Health And Safety, Little Rock, jan. 2009.
- [2] - TOYOTA INDUSTRIES MERCOSUR LTDA., Manual de Reparos - Dispositivo GLP Motor 4Y, Brasil, 2009.
- [3] - Brunetti, F., Motores de Combustão Interna: volume 1 /Franco Brunetti. - São Paulo: Blucher, 2012, pág. 447 a 468
- [4] - IMPCO, LPG Service Manual, EUA, 2007
- [5] - LPGA - World LPG Association, LPG for Forklift Trucks, 2018, disponível em <www.lpga.org>, acesso em setembro de 2020.
- [6] - Liquigás Distribuidora, Mitos e Verdades sobre o GLP, Escola de Negócios Granel - ENEG, São Paulo, 2018