

MONITORAMENTO DE OXIGÊNIO NO GÁS DE SAÍDA DO FORNO DE COQUE PARA CONTROLE DE SEGURANÇA¹

Felipe Azevedo²
Todd Newell³

Resumo

O gás de saída produzido pelo forno de coque é muito rico em Hidrogênio e portanto extremamente inflamável na presença de altos teores de Oxigênio. O gás contém também grande quantidade de particulados, piche e sulfurados, que acarreta em uma dificuldade extra em obter-se uma amostra limpa e seca para o analisador de Oxigênio. O propósito deste trabalho é demonstrar como um sistema de análise de oxigênio bem desenhado traduz-se em uma medição confiável e de rápido tempo de resposta numa medição difícil e tão crítica. O tempo de resposta rápido do sistema de medição é de suma importância para segurança da planta afim de evitar riscos de explosão potencial causado pela presença de Oxigênio no gás de saída do forno de coque. A confiabilidade do sistema de amostragem em assegurar uma amostra limpa e seca para o analisador significa maior tempo em operação e menos intervenções de manutenção do sistema. Métodos alternativos onde não existe sistema de amostragem tais como diodo a laser também são uma opção interessante para operadores de planta interessados em reduzir os custos de manutenção e obter medições confiáveis.

Palavra-chaves: Oxigênio; Segurança; Forno de coque; Paramagnético; Diodo a laser.

MONITORING OXYGEN IN COKE OVEN OFF-GAS FOR SAFE OPERATION OF A COKE OVEN

Abstract

The off-gas produced in a Coke Oven is highly rich in Hydrogen and is therefore extremely flammable in the presence of low levels of Oxygen. The gas also contains large quantities of particulate, tar and sulfur, which makes it difficult to get a clean dry sample to an Oxygen Analyzer. The purpose of this paper is to demonstrate how a carefully designed Oxygen Analysis System can provide a reliable and fast response measurement on this difficult but critical measurement. The fast response of the system is of utmost importance to the safety of the plant in order to avoid potential explosion risks caused by the presence of Oxygen in the Coke Oven off-gas. The reliability of continually delivering a clean dry sample to the analyzer means more time on-line and less downtime maintaining the system.

Alternative measurement methodologies without need for sample system such as Tune diode laser (TDLAS) are excellent option for plant operators interested in reliable measurements and low cost of maintenance.

Key words: Oxygen; Safety; Coke oven; Paramagnetic; TDLAS.

¹ *Contribuição técnica ao 23º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, 13 a 15 de agosto de 2008, Porto Seguro, BA*

² *Servomex Company, Inc., Rio de Janeiro, Brazil, Brazil Country Manager,*

³ *Servomex Company Inc., Norwood USA, VP of International sales, Latin America*

1 A APLICAÇÃO

O carvão cuidadosamente misturado é carregado nas baterias do forno de coque. O carvão é aquecido e pirolisado nos fornos até que se transforme em coque. Durante este processo, é produzido um gás de saída rico em hidrocarbonetos altamente inflamável. Este gás é refinado e usado como o combustível para fornos aquecedores e outros processos da combustão na usina siderúrgica.

Devido à alta inflamabilidade deste gás, a quantidade de oxigênio no gás deve ser monitorada com cuidado a fim de assegurar que há O₂ menor que 1% na presença de uma fonte de ignição, apenas uma concentração pequena de O₂ poderia levar a uma explosão. O tempo de resposta do analisador é crucial para o operador de planta poder avaliar a situação perigosa e tomar a ação correta e evitar o desastre potencial. O gás de saída do forno de coque é quente, úmido e sujo e contém altas concentrações de piche e de enxôfre, portanto é um desafio levar uma amostra limpa e seca ao analisador.

2 O ANALISADOR

O analisador do oxigênio para esta aplicação é um componente muito crítico do sistema de monitoramento. O analisador deve ser um dispositivo de muita confiabilidade e com uma resposta rápida. O analisador deve medir o oxigênio com precisão em uma corrente contendo hidrogênio, metano, monóxido de carbono, entre outros gases, sem a interferência destes gases de fundo. Como a amostra é rica em hidrocarbonetos, o analisador deve ser aprovado FM ou CSA para lidar com amostras inflamáveis em uma classe I, divisão 1, área do grupo B. O dispositivo deve ser de fácil manutenção e calibração em uma área perigosa sem a necessidade de obter uma permissão especial “hot work” .

A fim de integrar o analisador em um sistema de proteção total da segurança, o analisador deve ter um sinal de saída 4-20mA e contatos de alarme para indicar alta concentração de oxigênio. Um destes contatos de alarme pode ser ajustado como um alarme de advertência que indica concentração de oxigênio acima do normal no gás de saída. O segundo contato de alarme pode ser ajustado para parar o processo e purgar a linha com um gás inerte para eliminar toda a presença de O₂ no gás de saída do forno de coque. A saída 4-20mA análogica integrada no sistema de controle da planta (DCS) ou em um controlador de lógica programável (PLC) pode ser utilizada para iniciar alarmes de avisos e paradas no processo.

Já que o ambiente numa coqueria é agressivo e com altos níveis de poeira no ar, uma carcaça NEMA 4 ou 4X é essencial para proteger o dispositivo de detecção dos analisadores e viabilizar uma operação contínua, confiável e com máximo “up-time” para o sistema de monitoramento.



Figura 1- Servomex Xendos 1900B Analisador de Oxigênio.⁽¹⁾

2.1 O Sensor

Como dito acima, o analisador do oxigênio deve ser confiável, com um dispositivo de detecção que seja imune a interferência dos gases de fundo e forneça uma resposta rápida. Além disso, o dispositivo de detecção deve exigir manutenção mínima para maximizar o tempo de operação em linha do analisador e fornecer uma leitura estável. A técnica de medição ideal para esta aplicação difícil é uma célula de medição paramagnética magneto-dinâmica.

O oxigênio tem uma propriedade única quando comparado a outros gases; é atraído a um campo magnético visto que a maioria de outros gases rejeitam um campo magnético. Esta propriedade original faz ao sensor paramagnético a solução mais apropriada para a medição de oxigênio em uma corrente contendo hidrocarbonetos pois a medição do oxigênio não será afetada pela presença de outros gases.

O transdutor paramagnético magneto-dinâmico é composto dos seguintes componentes principais:

- Campo magnético não - uniforme produzido por ímãs permanentes montados verticalmente
- Duas esferas preenchidas de nitrogênio numa suspensão flexível com espelho
- Uma bobina de retroalimentação que contorna as esferas
- Uma fonte luminosa LED que reflete continuamente fora do espelho na suspensão
- Sensor da fotocélula que detecta a mudança no ângulo da fonte luminosa refletida e emite uma saída à bobina de retroalimentação

Quando uma linha de amostragem limpa e seca do gás de saída do forno de coque entra na célula de medição, as moléculas do oxigênio são atraídas ao centro do campo magnético não-uniforme quando os outros gases na amostra rejeitam o campo. As moléculas do oxigênio desviam a esfera fora do campo magnético (a posição zero ou nula) e uma mudança no ângulo da luz do LED refletida fora do espelho é detectada pelo sensor da fotocélula. O sensor da fotocélula emite imediatamente um sinal de saída à bobina de retroalimentação para “contrabalançar” as esferas que retornam às suas posições zero. O sinal produzido pelo sensor da fotocélula é diretamente proporcional à quantidade de oxigênio na amostra.

Como o dispositivo de detecção procura continuamente a posição zero, a fotocélula produz um sinal constante à bobina de retroalimentação que fornece atualizações contínuas a respeito da quantidade de oxigênio na amostra. Contanto que a amostra esteja circulando através do sistema, um tempo de resposta menor que 4 segundos, da medição do analisador à sua saída 4-20mA analógica, é esperado. A célula de medição é aquecida a uma temperatura nominal de 60°C a fim de eliminar o efeito de variação de temperatura da amostra na medição. A amostra e os gases de calibração entram na célula na mesma temperatura, que acarreta numa medição estável e consistente do oxigênio.

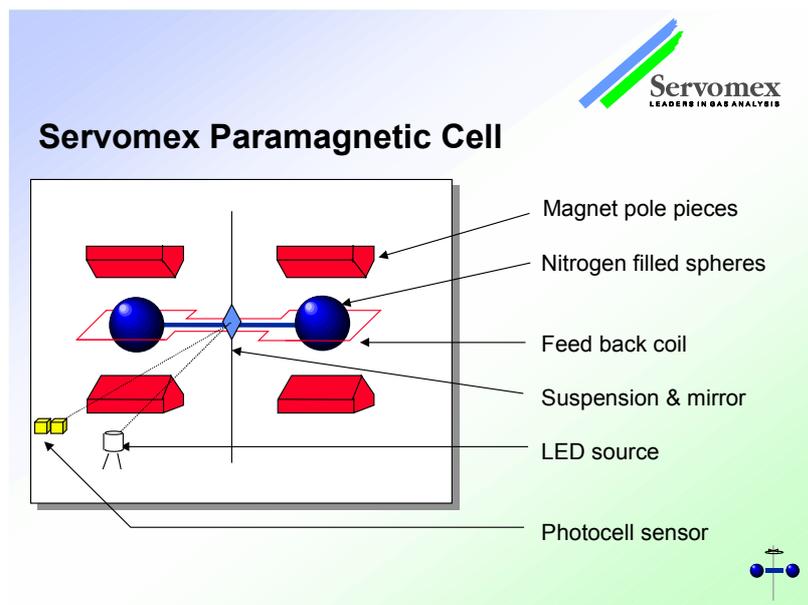


Figura 2- Posição Zero da Célula Paramagnética.⁽¹⁾

Um benefício adicional deste tipo de dispositivo de detecção é sua habilidade de ser integrado em um analisador que indica quando o sensor falhou. Quando houver um problema com o dispositivo de detecção, tal como uma suspensão quebrada ou danificada, devido à presença de particulado ou água (causado normalmente por uma falha no sistema de acondicionamento da amostra), o sinal emitido pelo detector da fotocélula pode nunca retornar as esferas à posição nula. A eletrônica do analisador detecta a instabilidade do sinal de retroalimentação e imediatamente “congela” a saída 4-20mA em 0mA que avisa o operador na sala de controle que estão operando sem um analisador.

Além disso, este sensor paramagnético magneto-dinâmico não exige nenhuma substituição de célula programada e somente uma calibração trimestral recomendada. A calibração é feita facilmente usando um gás nitrogênio livre de oxigênio para o ZERO e o ar de instrumento para as calibrações do SPAN.

Quando comparado aos sensores eletroquímicos pode-se ver claras vantagens bem definidas:

- Nenhuma necessidade para a substituição planejada do sensor
- Nenhuma necessidade para calibrações frequentes afim de testar o sensor
- Nenhuma preocupação se o sensor falhou sem avisar
- Sem problema de contaminação do sensor causado por amostra corrosiva
- Custos de operação totais mais baixos com maior tempo de funcionamento em linha.

Quando comparados a outros tipos de sensores paramagnéticos, deve-se notar as seguintes vantagens:

- Sem necessidade de fluxo constante de gás de referência (N₂)
- Sem influência causada por variações nas constantes de condutividade térmica dos gases de fundo

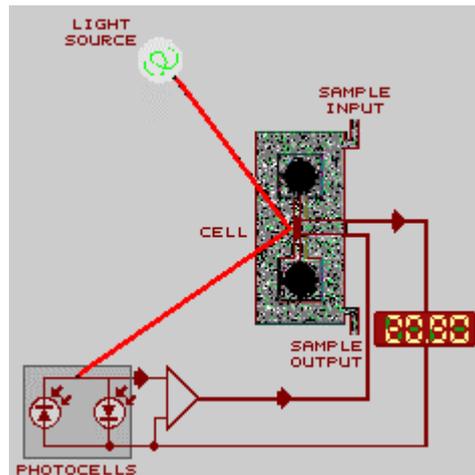


Figura 3- Transdutor de Oxigênio Paramagnético Magneto-Dinâmico

3. O SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AMOSTRA

O maior desafio na monitoração contínua do oxigênio no gás de saída do forno de coque é trazer uma amostra seca e limpa ao analisador do oxigênio. Se o sistema da amostragem não for projetado corretamente, o analisador pode ser danificado devido à presença de particulados ou de líquidos, que destroem qualquer tipo de sensores de gás. A fim de maximizar o “up-time” do sistema, é essencial desenvolver e manter corretamente um sistema de amostragem.

Um analisador de oxigênio típico exige as seguintes condições do gás de amostra na entrada do instrumento:

- Pressão de entrada da amostra: 0.04 psig
- Fluxo da entrada da amostra: 50 - 250 ml/minuto
- Pressão do respiradouro da amostra: 11.5 a 18 psia
- Ponto de condensação da amostra: Sem condensação na temperatura ambiente
- Temperatura da amostra: -10 a 50°C
- Tamanho de particulado: < 3 microns
- Condição da amostra: Limpa e livre de óleo e condensados

O sistema de acondicionamento da amostra deve extrair uma amostra do processo, que está sujo e com alto nível de enxôfre, e entregá-la ao analisador nas circunstâncias acima. Na maioria dos casos, o sistema de acondicionamento da amostra começa imediatamente antes da entrada do analisador e a amostra é extraída do processo por uma sonda tubular oca e uma linha de aço inoxidável com diâmetro de 3/8”. No caso do sistema para o sistema analítico do gás de forno de coque, o acondicionamento começa no ponto da extração da amostra

O sistema consiste nos seguintes componentes principais:

- Uma sonda de amostragem de aço inoxidável, Hastelloy ou cerâmica que seja introduzida no processo
- Um aspirador a vapor ou ejetor para extrair a amostra do processo
- Linha de amostragem de aço inoxidável 316 ou Hastelloy ou mangueira resistente aos vapores ácidos para transportar a amostra do processo ao analisador

- Um separador da lavagem da água com o dreno para remover os gases condensados corrosivos e os particulados da amostra e para separar a amostra gasosa do líquido
- Um borbulhador de gás que regula o fluxo da amostra ao analisador pelo uso de dois tubos de mergulho de comprimentos diferentes inseridos numa bacia d'água. A diferença nos comprimentos dos tubos e o fluxo constante das bolhas produzidas pela amostra quando atravessa cada tubo indica que o fluxo exigido de amostra está chegando ao analisador.

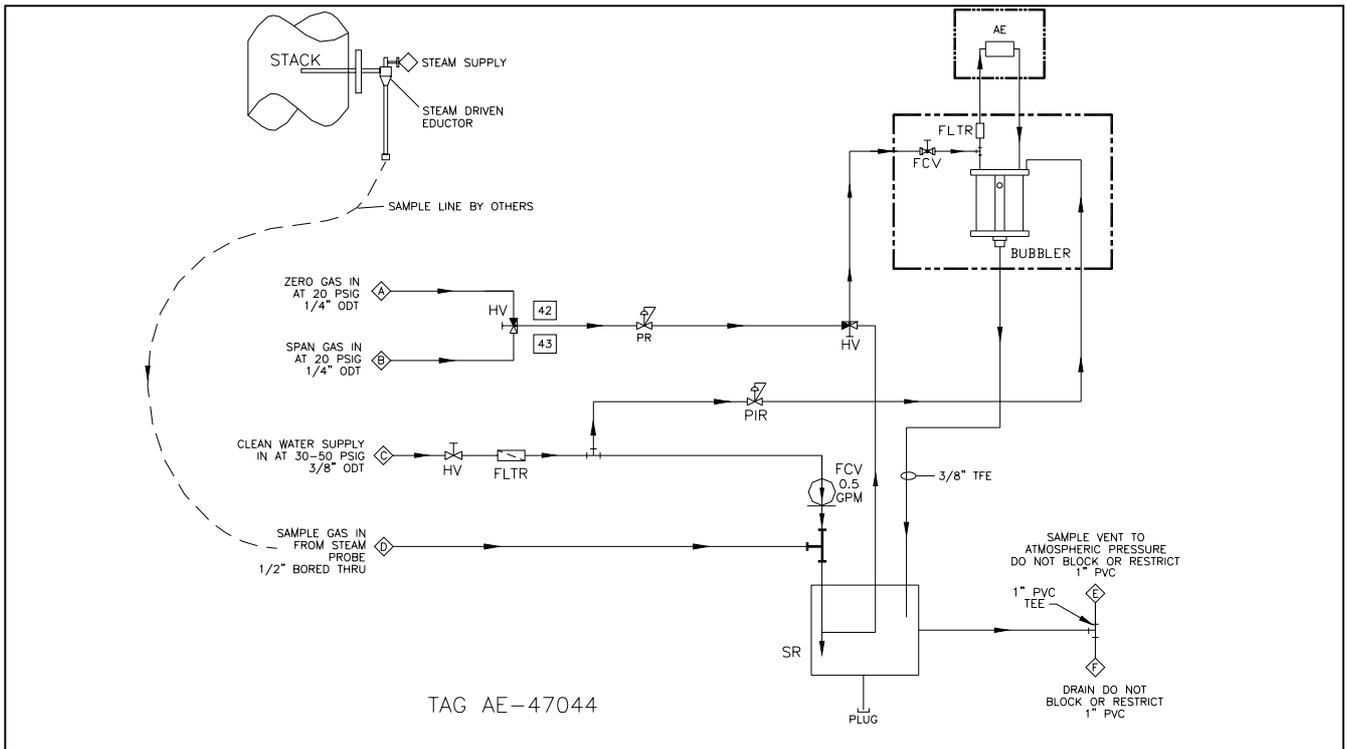


Figura 4- Diagrama do sistema de monitoramento de gás de saída do forno de coque.⁽²⁾

O vapor seco é fornecido através do aspirador à sonda da amostra e então ejetado através de um jato situado na boca do aspirador. O fluxo do vapor faz com que o gás de amostra seja extraído pela sonda. A corrente gasosa passa através da sonda e pela linha da amostragem até o separador da lavagem da água em uma pressão positiva. O fluxo do vapor através da linha de amostragem impede o acúmulo de particulados e condensados corrosivos e assegura que não haja nenhuma obstrução desta linha.

A amostra passa então através do separador da lavagem da água, que é continuamente fornecido com água potável. A água dilui todo o enxôfre na amostra e remove o seu particulado. Os contaminantes da amostra são drenados do separador e a amostra limpa passa ao analisador. Todas as gotículas de água que a amostra puder ainda conter são filtradas e drenadas para o borbulhador de gás. Uma vez que a amostra passa através da célula de medição paramagnética e o oxigênio é medido, ela sai do sistema da amostragem através do borbulhador de gás, produzindo as bolhas que indicam que a amostra está correndo através do analisador. O borbulhador de gás serve como uma alternativa atrativa contra um rotâmetro tradicional quando lidamos com amostras de gás úmido. A presença de qualquer umidade num rotâmetro projetado para medir fluxo gasoso danificaria o rotâmetro e o resultado seria uma manutenção adicional no sistema. Usando os dois

tubos do mergulho de comprimentos diferentes, o fluxo da amostra é controlado sem preocupar-se sobre as gotículas de água que danificariam o medidor de fluxo.

3.1 Utilidades Exigidas pelo Sistema

As seguintes utilidades são exigidas para o bom funcionamento do sistema de monitoramento do gás de saída do forno de coque:

- Ar de instrumento padrão ISA S7.3 para a calibração do SPAN do analisador do oxigênio
- Nitrogênio livre de oxigênio 99.99% para a calibração ZERO do analisador de oxigênio
- Fonte de alimentação 117V ou 220V para o analisador do oxigênio
- O vapor de-saturado em 50 psig para o vapor de aspiração da sonda
- Água potável em 35 a 90° F ou água do processo com um pH de 6 a 9 que esteja livre da amônia e de material particulado que poderiam obstruir um filtro de 40 MESH. Esta água é usada para o separador da lavagem da água.

4 ABORDAGEM ALTERNATIVA

Há uma interessante abordagem alternativa para a solução extrativa do sistema da amostragem em aplicações para gás de saída de forno de coque. Servomex 2900 LaserGas™ é um instrumento ótico para a monitoração contínua “in situ” do gás na chaminé, em tubulações, fornos e em câmaras de processo e é baseado na espectroscopia de absorção por diodo a laser ajustável (TDLAS). O Servomex 2900 utiliza um transmissor e receptor configurado (montados diametralmente opostos ao outro) para medir a concentração média do gás ao longo do trajeto da linha de processo.



Figura 5- Servomex 2900 analisador de gas In-situ com tecnologia TDLAS.⁽³⁾

O princípio de medição é a espectroscopia de linha única de absorção infravermelha, que é baseada no fato de que cada gás tem linhas de absorção distintas em comprimentos de onda específicos. O princípio de medição é ilustrado na Figura 6.

O comprimento de onda do laser é varrido através de uma linha de absorção escolhida do gás a ser medido. A linha de absorção é selecionada com cuidado para evitar a interferência transversal de outros gases (do fundo). A intensidade de luz

detectada varia em função do comprimento de onda do laser devido à absorção das moléculas alvejadas do gás no trajeto ótico entre o transmissor e o receptor.

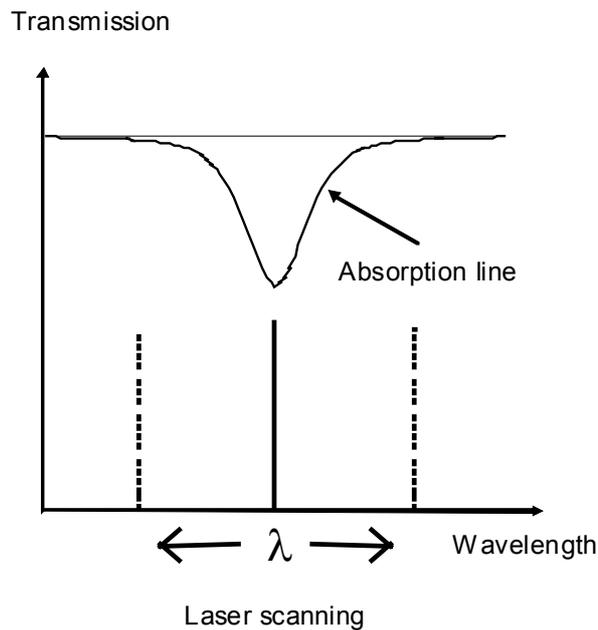


Figura 6- Comprimento de onda do gás sendo varrido pela equipamento com tecnologia TDLAS.⁽³⁾

Rápido tempo de resposta, longos intervalos entre calibrações (até 1 ano) e nenhuma peça móvel são vantagens claras desta tecnologia. Além disso, a ausência de sistema de amostragem libera a equipe de manutenção dos rotina regular exigida pelo sistema extrativo.

Uma grande variedade de gases pode ser medida usando a tecnologia de TDLAS de acordo com condições de processo e as faixas de medição exigidas:

Tabela 1- Gases típicos analisados com tecnologia TDLAS com suas faixas mínimas de medição.⁽³⁾

Gás	Limite Detecção	Min. Faixa de medição, 1 m OPL (disponível em faixas maiores)	Tmax C	Pmax bar
O2	0.01 % vol.	0-2 % vol	1500	10
HCl	0.05 vpm	0-5 vpm	500	2
HF	0.015 vpm	0-2 vpm	600	3
NH3	0.15 vpm	0-15 vpm	500	2
H2O	0.05 vpm	0-50 vpm	1500	2
H2S	3 vpm	0-300 vpm	400	2
CH4	0.2 vpm	0-20 vpm	500	5
HCN	0.2 vpm	0-20 vpm	500	2
CO	25 vpm	0-2500 vpm	1300	2
CO2	30 vpm	0-3000 vpm	1300	2

5 CONCLUSÃO

A capacidade de um processo funcionar com segurança enquanto minimiza a manutenção e o tempo ocioso do sistema são importantes para reduzir custos de operação de controle de toda a planta. Existem mais de 30 sistemas de monitoramento de oxigênio de gás de saída de forno de coque instalados com sucesso no mundo inteiro assegurando a qualquer operador de planta que um projeto comprovado como o descrito neste trabalho ajuda a fornecer uma operação segura e de longo prazo, reduzindo custos de manutenção e do tempo fora de operação. Uma abordagem recente que usa o analisador “in-situ” de oxigênio por tecnologia TDLAS pode ser considerada como uma alternativa para sistemas extrativos através de um dispositivo com longa vida e baixo custo de manutenção.

REFERÊNCIAS

1. Servomex, Xendos 1900 series Hazardous area Oxygen analyser manual, UK, 1999
2. Servomex, nota técnica 7986-2170, The Monitoring and Control of Blast furnace, UK, 1996
3. NeoMonitors, LaserGas™ II SP monitor, User's reference manual v1.3, Norway, 2008.

BIBLIOGRAFIA

- 1 Servomex, nota técnica TNpm03, Magneto Dynamic paramagnetic measurement, UK, 2005