

SISTEMA DE CONTROLE DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS EM GASES DE COMBUSTÃO DE GRUPOS MOTO- GERADORES DE ENERGIA



CAPMETAL TECNOLOGIA AMBIENTAL- DOMENICO CAPULLI-
SETEMBRO 2009

- AUTOGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA -

Nos grandes centros urbanos com disponibilidade de área exíguos e necessidades intensivas de disponibilidade de energia elétrica temos através da queima de combustíveis fósseis derivados do petróleo, uma das formas mais consolidadas e confiáveis para obter energia elétrica, que é uma disponibilidade de infra-estrutura que assegura Confiabilidade Operacional a processos e rotinas das empresas, além de economia tarifária no período de pico(geração hora sazonal).

No balanço do processo de auto geração a partir da combustão de óleo diesel, dá-se a emissão gasosa contendo gases ácidos de enxofre, material particulado e óxidos de carbono e nitrogênio. A incorporação de material particulado micrométrico e gases no ar de combustão deslancea a composição do ar ambiente natural.

Estudo de Seleção de Rota Tecnológica

Depuração Atmosférica- Grupo de Geradores

- Esta apresentação estará focada na aplicabilidade da Tecnologia de Centrifugação Líquida Multiventuri no processamento dos gases emitidos por cinco grupos moto-geradores de energia com capacidade unitária máxima de 2500 KVA/2000 KW acionados por motor Cummins QSK60-G6 turbo comprimido de 4 ciclos operando a 1800 rpm com 2922 HP com 16 cilindros em V e consumo unitário estimado de 510 L/h de óleo diesel a plena carga.
- Operando com 75% da carga dos geradores, sendo o consumo de óleo estimado em 385 L/h gerando 1986 BHP (1481 KWm), conforme data sheet do fabricante (engine data sheet-curva nº FR-6364 de 21/02/06)

ARRANJO GRUPO DE GERADORES EM USINA DE ENERGIA



GASES DE COMBUSTÃO

A operação de grupo de geradores á óleo diesel, é uma fontes estacionárias de emissão de poluentes sendo requerido o tratamento de remoção e neutralização destas emissões por processos físico-químico de abatimento e neutralização:

- *Óxidos de Carbono* (CO , CO_2)
- *Óxidos de Nitrogênio* (NO_2 , NO_3)
- *Óxidos de Enxôfre* (SO_2 , SO_3)

- LEGISLAÇÃO APLICÁVEL NO CONTROLE DA EMISSÃO DOS POLUENTES

Vazão de gases de Combustão/gerador: 23.880 m³/h@474°C

Empreendimento sustenta ações de uma política de Controle das Emissões Gasosas que racionalize o binômio investimento X performance;

- *Remoção úmida de cinzas (“wet slag”) que reduz as cinzas arrastadas pela exaustão(“ash drawn off”);*
- *Uso intensivo de Tecnologias de Controle de Poluentes Modernas que atendam os Parâmetros de Emissão cada vez mais Restritivos, conforme*

- Legislação Ambiental

A qualidade do ar atmosférico em termos de concentração de MP , NO_x e SO_x presente na atmosfera deve seguir padrões de acordo com a Legislação Ambiental aplicável nas esferas Municipal Estadual e Federal, sempre atendendo o parâmetro de maior rigor.

O dióxido de nitrogênio(NO_2) por exemplo, é um poluente típico de unidades de combustão e geração de energia e reage rapidamente em condições atmosféricas na formação de “*smog*” fotoquímico e geração de ozônio, além de ácido nítrico e nitroso, .

- › ***Os padrões de emissão para qualidade do ar em bacias aéreas estabelecidos pela legislação Federal Resolução 003/1990***
- › ***MP de $80 \mu g/m^3$***
- › ***NO_2 é $100 \mu g/m^3$***
- › ***SO_2 é $80 \mu g/m^3$.***
- › ***CO_2 é $10.000 \mu g/m^3$***

De acordo com CETESB, os limites de emissão para poluentes atmosféricos de grupos de geradores:

Poluente	Padrão CETESB (mg/Nm3)
Material Particulado (corrigido para 7% de O2)	50
Dióxido de Enxofre	200
Óxido de Nitrogênio	135
Monóxido de Carbono	80
<i>Metodologia de análise conforme protocolo CETESB nº L9.221/222/223/224/225/228 e 229</i>	

Taxa de Emissão – Dados do Fabricante

Comparados com os limites de emissão

Standby Rating				
Emissões típicas de geradores 40-2000kW	miligramas/Nm3		Percentagem acima	
Critério sobre poluentes	mínimo	máximo	mínimo	máximo
HC (total de Hidrocarbonetos não queimados)	30,48	213,33	-	-
Nox (Óxidos de Nitrogênio como NO2)	1828,58	3961,93	125450,48%	283476,03%
CO (Monóxido de Carbono)	152,38	609,53	9047,72%	66190,89%
PM (Partículas de Materiais)	76,19	152,38	5238,18%	20476,36%
SO2 (Dióxido de Enxofre)	152,38	213,33	abaixo	666,73%

Taxa de Emissão – Dados do Fabricante Comparados com os limites de emissão

Prime Rating					
Emissões típicas de geradores 40-2000kW		miligramas/Nm3		Percentagem acima	
Critério sobre poluentes		mínimo	máximo	mínimo	máximo
	HC (total de Hidrocarbonetos não queimados)	29,76	208,33	-	-
	Nox (Óxidos de Nitrogênio como NO2)	1785,72	3869,05	122275,20%	276596,27%
	CO (Monóxido de Carbono)	148,81	595,24	8601,20%	64404,80%
	PM (Partículas de Materiais)	74,40	148,81	4880,96%	19761,92%
	SO2 (Dióxido de Enxofre)	148,81	208,33	abaixo	416,67%

Taxa de Emissão – Dados do Fabricante

Comparados com os limites de emissão

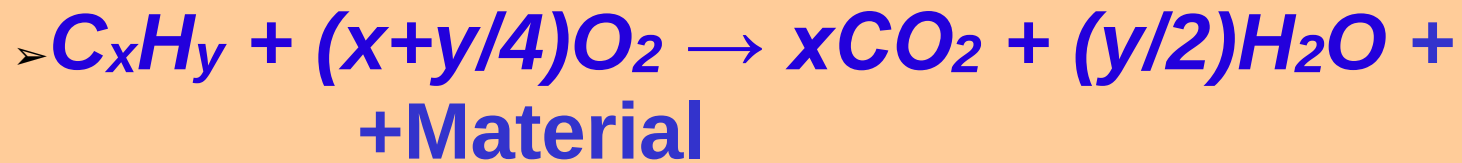
Continuous Rating					
Emissões típicas de geradores 40-2000kW		miligramas/Nm3		Percentagem acima	
Critério sobre poluentes		mínimo	máximo	mínimo	máximo
	HC (total de Hidrocarbonetos não queimados)	29,41	205,90	-	-
	Nox (Óxidos de Nitrogênio como NO2)	1764,88	3823,91	120731,96%	273252,58%
	CO (Monóxido de Carbono)	147,07	588,29	8384,18%	63536,73%
	PM (Partículas de Materiais)	73,54	147,07	4707,35%	19414,69%
	SO2 (Dióxido de Enxofre)	147,07	205,90	abaixo	295,14%

Valores de Referência de Limites de Exposição (TLV) para Substâncias Químicas e Agentes Físicos (ACGIH – edição 2007)

Substância	TLV-TWA (mg/m ³)	TLV-STEL (mg/m ³)	Efeito Crítico
Monóxido de Carbono	25 ppm	-	COHb – emia
Dióxido de Enxofre	-	0,25 ppm	Irritação TRS e função pulmonar
Dióxido de Carbono	5000 ppm	30.000 ppm	Asfixia
Dióxido de Nitrogênio	3 ppm	5 ppm	Irritação TRS e TRI

Nota: ACGIH-American Conference of Governmental Industrial Hygienists
 TLV-C (Threshold limit value-ceiling) Valor limite de concentração que nunca deve ser ultrapassado (teto)
 TLV-TWA (threshold limit value-Time Weighted Average) Valor de concentração ponderada para exposição por 8h/dia, 40h/semana sem efeitos nocivos
 TLV-STEL (Threshold limit value-Short Term Exposure Limit) valor de concentração que pode-se expor o ser humano repetidamente por curto intervalos de tempo (15'), máximo 4 vezes ao dia, sem danos crônicos, irritação ou carnose.

➤ Como principal Reação Química característica das Operações de Geração de Energia temos a Oxidação de Combustíveis Fósseis no Processo de Combustão, com a quebra de moléculas orgânicas:



➤ **Particulado(“flyash”)+ENERGIA**

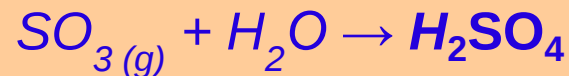
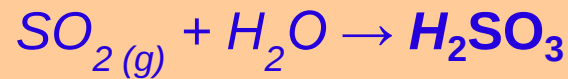
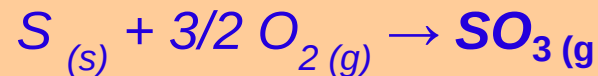
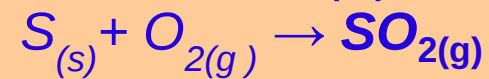
sendo o **Dióxido de Carbono** um poluente impactante na atualidade pelo efeito Estufa que provoca na Troposfera.

OS POLUENTES SECUNDÁRIOS

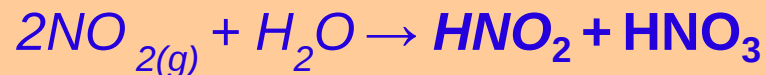
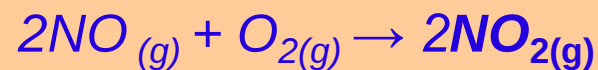
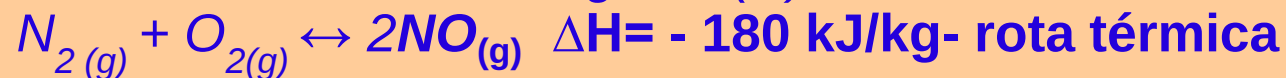
Os 21%(v/v) de **Oxigênio** contidos no ar atmosférico é o **Oxidante (Comburente)** de uso mais difundido , entretanto os demais componentes do Ar (diluentes) nos traz como **Poluente Compulsório** a geração de Óxidos de Nitrogenio- **NO_x**.

Temos que os incombustíveis e não voláteis geram uma fração sólida de Material Particulado- **MP** como resíduo de carbono amorfo, silica, etc com distribuição granulométrica na faixa de 1 a 20 μ, e das impurezas a presença de **Enxofre (S)** e **Nitrogenio(N)** que geram os respectivos Óxidos gasosos em temperaturas elevadas. Ambos ao serem lançados na Atmosfera combinam-se com a umidade do ar acidificando a atmosfera. Veja as reações abaixo :

➤ *Enxofre(S)*



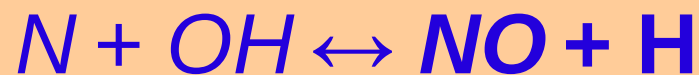
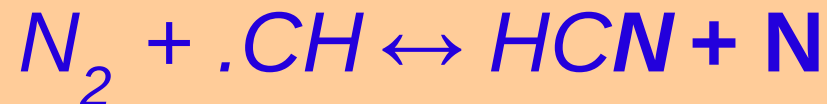
Nitrogênio (N)



OS POLUENTES SECUNDÁRIOS

A segunda fonte de formação de óxidos de nitrogenio e a partir do nitrogênio contido no combustível (2%) que sofre forte influencia do excesso de ar.

A terceira forma de emissão de óxidos de nitrogenio foi descoberta em 1971 pela observação do Nitrogênio combinar-se com radicais de carbono, formando os óxidos de nitrogenio rápido na zona frontal da chama



A MUDANÇA A PARTIR DA RESOLUÇÃO CONAMA n °382 de 2006

A edição da resolução CONAMA é um Marco Regulatório pela especificidade que vincula o processo a taxa de poluentes limites, nesse sentido a Seleção da Rota Tecnológica passa a ter um caráter verticalizado pois tem-se um novo poluente a controlar que é a emissão de NOx. O uso de tecnologias de queimadores tangenciais com menor taxa de emissão de NOx, o uso de combustíveis com menor teor de enxôfre , ou seja o conceito de Processos de Combustão Tecnologia Limpa, Do Sistema de Exaustão e Controle de Poluentes de Gases de Combustão passa a ser requerido performance compatível para extração de Material Particulado Micrométrico, Óxidos de Carbono , Enxôfre e Nitrogênio sendo requerido o uso de tecnologias BADCT (“Best Available Demonstrated Control Technology”), isto é, as melhores tecnologias de controle comprovadamente existentes.

-A Tecnologia de Centrifugação Multiventuri aplicada em Gases de combustão

A Estagnação Tecnológica no segmento de Controle de Poluentes Atmosféricos é explicada pela Negligencia no Uso ao Ar Atmosférico como insumo, associado a Elevada Entalpia dos Gases que gera uma enorme dificuldade de depura-lo em Fluxo, pelo seqüestro de poluentes numa concentração máxima de g/m^3 em volumes sempre acima dos milhares de m^3/h .

A nossa tecnologia é consolidada em mais de 30 anos de atividades e aplicações que atestam sua viabilidade conforme laudos que alcançam os resultados a seguir, sendo o Precipitador Hidrodinamico o único dispositivo de controle de poluentes , ou seja não há elementos de remoção de particulados grosseiros:

-A Tecnologia de Centrifugação Multiventuri aplicada em Gases de combustão

Poluente	Banco Itaú(7,5MW/h)	TELEMAR(3,5MW/h)	WEG(0,7MW)
Material particulado (mg/Nm ³)	37,3	26	9,2
Óxidos de enxofre (mg/Nm ³)	12,23	23	NA
Óxidos de nitrogenio (mg/Nm ³)	55	ND	ND
CO(ppm)	532	ND	ND

Tecnologia proposta para Tratamento de Gases de Combustão das Caldeiras da Refinaria movida a Coque de Petróleo

Restringiremos nossa abordagem a tecnologia que iremos propor, considerando aspectos de **performance, investimento, disponibilidade de neutralizante local e a tipologia da caldeira** de forma a permitir o confronto com as tecnologias corriqueiras de Filtro eletrostático(ESP- Eletrostatic Precipitator) + torre de desulfurização(FGD- Flue Gas Desulfurization) + redução catalítica seletiva de nitrogênio(SCR- Seletive Catalitic Reduction).

Tecnologia proposta para Tratamento de Gases de Combustão de Grupos de Geradores

Material Particulado: considerando:

- Uso de remoção larval das cinzas (“wet slag”);
- Uso de caldeira com queimadores tangenciais e recirculação na câmara de combustão ao invés de no ar de combustão, Teremos a minimização da taxa de emissão e a alteração do corte granulométrico que permite especificar o uso de Multiciclones sequenciais no primeiro estágio do sistema de Depuração com objetivo de estabelecer uma linha de corte de particulados grosseiros ($> 10 \mu\text{m}$). Instalados após os economizadores ou pré-aquecedores do ar de combustão, tratam-se de ciclones de raio variável que favorece a separação após a aceleração centrífuga inicial e que dispõe de placas de sacrifício para minimizar os efeitos da abrasão .

Tecnologia proposta para Tratamento de Gases de Combustão de Grupos de Geradores

Desacidificação: O conceito é baseado na neutralização química dos óxidos de enxofre e nitrogênio através de processos químicos por via úmida. No setor de produção de energia, a absorção por via úmida dá-se em duas correntes de tecnologias de desacidulação dos gases de combustão:

- **Rota Óxidos** - processos Sulfito(óxido de magnésio), Jecco(óxido de cálcio), Mitsubishi(óxido de magnésio), DAP(óxido de manganês) e Trail(solução amoniacal);

- **Rota alcalina** - processo Stone&Webster(regeneração eletrolítica), Wellman Lord(carbonato de sódio);

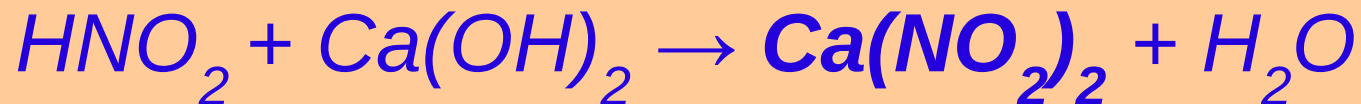
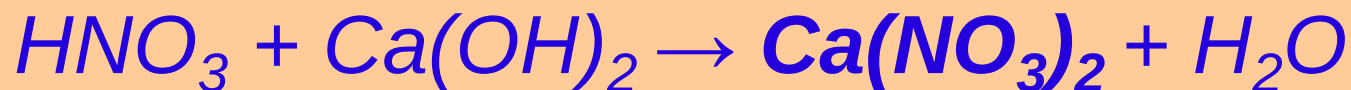
Havendo ainda processos à Seco de absorção a seco por pulverização e Catalíticos, que não serão abordados.

SINTÉTICO DA ROTA ÚMIDA

- O uso de Precipitadores Hidrodinamicos operando com a tecnologia de centrifugação líquida multiventuri no controle dos poluentes do tipo **COx**, **SOx** e **NOx** vem se apoiando nas rotas químicas tradicionais, sendo o diferencial a performance do meio reacional:
- rota de Hidróxido de Cálcio ($\text{Ca(OH}_2\text{)}$) controle de **COx**, **SOx**
- rota de Amônia (NH_3) controle de **NOx**

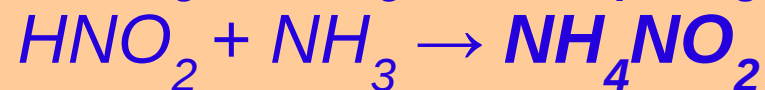
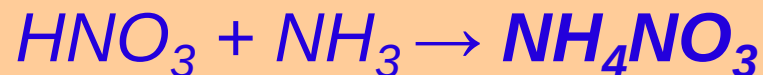
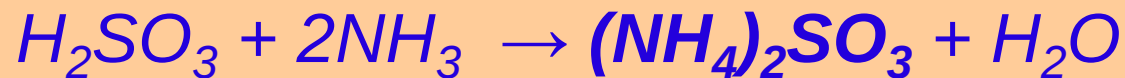
ABSORÇÃO ALCALINA POR HIDRÓXIDO DE CÁLCIO

O uso do Hidróxido de Cálcio(**Ca(OH)₂**), as reações de neutralização dos gases ácidos produzem sulfito/sulfato de cálcio e nitrito/nitrato de cálcio, rejeitos sólidos que necessitam ser direcionados para outros fins industriais, como: conservantes, explosivos, fertilizantes, fósforos, fogos de artifício, fabricação de ácido nítrico, inibidores de corrosão, lavagem de óleo e lubrificantes, etc. As instalações requerem periféricos de manipulação de sólidos e preparo de solução do leite de cal, filtragem e disposição final do sal formado.



➤ ABSORÇÃO POR AMÔNIA(NH₃)

O uso de amônia injetada amontante do sistema de controle favorece a reação através da rede de dutos sendo alcançado no dispositivo úmido a absorção com a geração de Sulfato e Sulfito e Nitrito e Nitrato de Amônia, esta opção requer o provável aquecimento ou injeção da amônia após o economizador :



- **PRECIPITADOR HIDRODINÂMICO**- Reator dinâmico bifásico de alta performance aplicado na Dessulfurização e Desnitrificação de Gases de Combustão, por Centrifugação Líquida Multiventuri.

➤ **A Tecnologia da Centrifugação Líquida Multiventuri:**

Associada a qualquer uma das distintas rotas de reação química em ambiente bifásico para carregamento hidráulico de material particulado micrométrico e sub-micrométrico e absorção e neutralização das frações ácidas de óxidos de enxofre, nitrogênio e carbono.

Os **Precipitadores Hidrodinâmicos** são capacitados a operar por qualquer das rotas do hidróxido de cálcio, da soda cáustica ou amônia, alterando-se detalhes construtivos e os periféricos de dissolução, filtragem do circuito líquido e remoção de torta de filtrado.

O cerne tecnológico dos Precipitadores Hidrodinâmicos® fundamenta-se na Convergência da amplitude de vibração molecular de fluidos com a sinergia de contato mecânico promovida pela centrifugação simultânea dos fluidos gasosos e líquidos.

UNIDADE DE TRATAMENTO DE GASES DE COMBUSTÃO



Sequencial do Sistema Centrífugo de Extração de Particulados e Desacidificação de Gases de Combustão de Caldeira de Geração de Vapor.

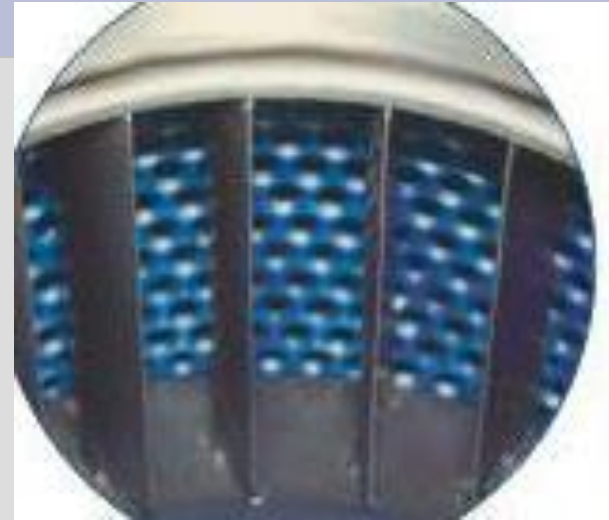
- Aspiração dos gases poluentes após os multiciclones, sendo transportados por rede de dutos isocinética ao Sistema Centrífugo de Extração de Particulados Residuais e Desacidificação de Gases de Combustão composto por :
 - ***Câmara de Saturação Úmida (“Quencher”)***, os gases aspirados dos dutos sofrem uma expansão abrupta com queda de velocidade interna e são induzidos a fluxo ascendente em contra-fluxo com o líquido aspergido. Nesta etapa teremos resfriamento abrupto, abaixo do ponto de orvalho e formação primária das frações ácidas, bem como o abatimento de material particulado micrométrico;
 - Na seqüência os gases poluentes resfriados serão centrifugados com líquido alcalino recirculante no ***Precipitador Hidroturbociclônico HTC (“booster”)*** onde há efetiva conversão dos óxidos de enxofre e nitrogênio e solubilização dos sais formados

O cerne tecnológico é o Fracionamento do Volume Gasoso e Líquido em centenas de porções, com elevada multiplicação da superfície de contato nas Múltiplas Perfurações Venturi

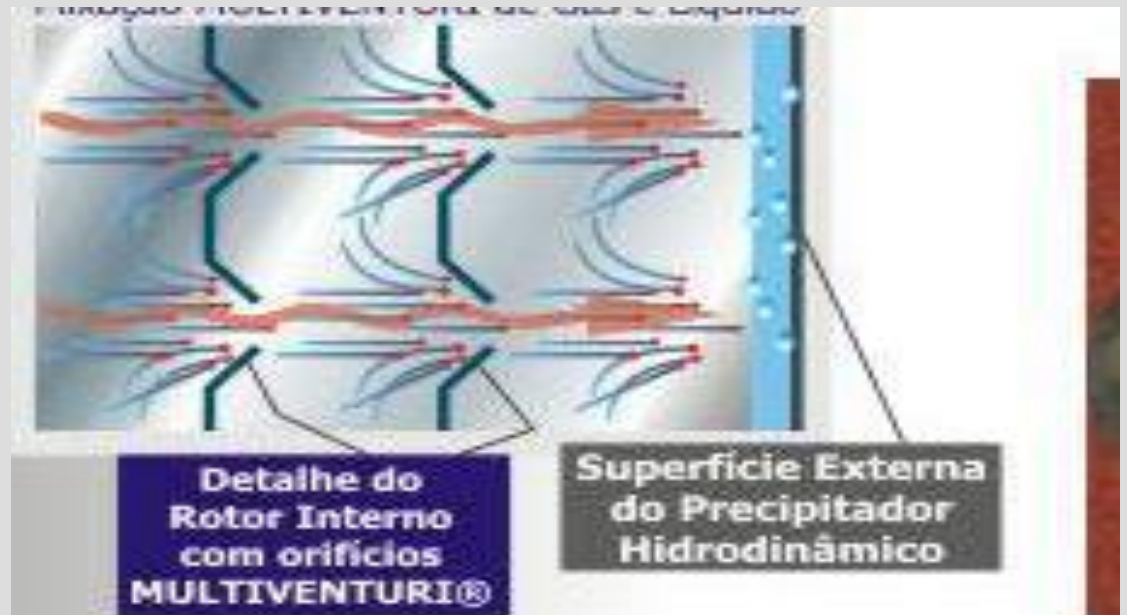
- Na seqüência os Gases pré-condicionados são submetidos a uma nova centrifugação no Precipitador Hidrodinamico onde da-se o sequestro das frações remanescentes de ácidos formados no estágio anterior, sendo o ar tratado Descarregado para o meio ambiente externo através de chaminé de dispersão.
- A maximização dos índices de conversão nas reações de neutralização “in situ”, típicas de:
ácido + base → sal + água

sustentam a absorção dos gases poluentes, enquanto que o encharcamento e arraste hidráulico asseguram o controle de material particulado micrométrico e submicrométrico.

Detalhes do rotor com perfurações venturi



- Estas perfurações são responsáveis pela efetiva transferência de massa e energia promovendo a absorção dos gases ácidos



Sistema Integrado de Desacidificação dos Gases de combustão

Este sistema dispõe de periféricos a saber:

- Silo ou tanque de estocagem do agente de neutralização;
- Elevadores de canecas para transferência de sólidos
- tanque de dissolução;
- tanque pulmão de armazenamento com agitação mecânica;
- bombas centrífugas de recalque e drenagem de borra para filtragem,
- torres de resfriamento,
- bomba centrífuga de deságua da solução saturada com retorno de filtrado ao sistema,
- Filtragem e remoção de torta para descarte adequado
- instrumentação e controle de automação por PLC integrado ao sistema supervisor do cliente com monitoramento mínimo de fluxos, temperatura, níveis, pH;
- comando em damper"s de desvio, controle e bloqueio.
- Sistema de monitoramento contínuo de chaminé

A Inovação Tecnológica de Centrifugação Bifásica disponibiliza Solução Compacta de Alta Performance

➤ Trata-se de uma solução integrada e multi modal pois controla gases e particulados simultaneamente.

Como principais diferenciais temos:

➤ **É auto-aspirante("booster function")** não imputando perdas de carga adicional ao sistema e proporcionando uma otimização dos fluxos e vazão de gases processada .

➤ Este equipamento não é um filtro obstrutivo com queda de vazão progressiva em função da elevação da perda de carga por obstrução típica dos sistemas de filtragem,

➤ **Dimensões compactas,**

➤ **Ausência de elementos descartáveis ou de re-processamento complexo,**

➤ **Elevada eficiência com flexibilidade para maximização de eficiência permitindo atender legislações mais exigentes em épocas futuras a partir da mesma instalação originalmente implantada.**

➤ **Vida útil permanente pela construção inoxidável AISI 316 L**

Duplo Estágio Precipitador Hidroturbociclonico e Hidrodinamico em Serie



Macroanálise de aplicação da tecnologia dos Precipitadores Hidrodinamicos nos geradores em foco neste estudo:

Vazão Processada: $5 \times 23.880 \text{ m}^3/\text{h}$ ($43.635 \text{ Nm}^3/\text{h}$)

Pressão estática disponível: 40 mm.c.a.

Potencia Instalada no sistema de depuração:

Precipitadores Hidroturbociclonicos:

40 CV/6 pólos/440-760V/60Hz,

Bombas centrifugas: 2.0CV/2 pólos/460V/60Hz

Conclusões

- O investimento em sistemas de controle de poluentes em unidades de geração de energia em Grupos de Geradores tornou-se mais relevante e seletivo a partir da nova legislação ambiental
- Sem nenhuma hipótese de apresentar rentabilidade econômica, pois trata-se de um investimento que completa o processo de geração de energia onde os resíduos devem ser adequadamente processados.
- A outra vertente é a do rigor e efetividade da legislação ambiental a ser atendida tanto por regulamentações públicas, quanto às corporativas e econômicas exercidas no comércio internacional sob as determinações das normas ISO série 14000.
- As premissas expostas induzem á algumas exclusões como a do uso de processos de eficiência reduzida como as dos lavadores de gases convencionais e filtros de mangas, pois apesar de investimento menor não garante certificação funcional e apresenta elevado risco de obsolescência.

No rol das tecnologias que são BADCT mesmo em locais de regulamentações mais rígidas, temos alguns aspectos a cotejar, por exemplo, as oscilações na vazão, concentração e composição das correntes gasosas alteram a performance dos sistemas de atração eletrostática, temperaturas abaixo do ponto de orvalho podem gerar deliquescência dos sais formados provocando empastamentos em filtros de mangas, o entupimento de bicos aspersores dos lavadores operando com Hidróxido de cálcio reduzem a performance e a confiabilidade operacional, a presença de material particulado pode criar caminhos seletivos ou obstrução no enchimento de torres de absorção; realidades que determinam que tecnologias com maior flexibilidade operacional são as mais indicadas para suportar as peculiaridades típicas de fluxos contendo gases de combustão de óleos

- Desta análise somos induzidos a restringir nossa análise aos processos de Centrifugação dos Precipitadores Hidrodinâmicos e a de Torres de Absorção , visto que a confiabilidade operacional e a múltipla ação sobre as distintas tipologias de poluentes e fator determinante na seleção da tecnologia de controle.
- Dentre as tecnologias remanescentes diferenciam-se pelo valor do investimento, consumo de energia e dimensões, sendo o computo favorável ao emprego dos Precipitadores Hidrodinâmicos nos aspectos de investimento com diferencial de redução superior a 30%; dimensional com redução de 40% como consequência do grande diferencial das velocidades internas de processamento nos Precipitadores Hidrodinâmicos;



- CAPMETAL TECNOLOGIA AMBIENTAL
- Engº Domenico Capulli
- Diretor de Aplicações
- 21 – 38601261
- www.capmetal.com.br
- diretoria@capmetal.com.br