



## **ESTUDOS PRELIMINARES PARA PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM EROSÍMETRO A ALTA TEMPERATURA – MODELAÇÃO E PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO**

**Paulo César Borges, Ronan Luiz Figueiredo Pedroso, Fernando Torino de Oliveira,  
Cézar Luíz Serafim, Márcio Mafra, Julio César Klein das Neves**

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Departamento Acadêmico de Mecânica,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Laboratório Integrado  
de Materiais, pborges@cefetpr.br, Curitiba, PR, Brasil

**Jobber Chaves Penteado, Cezar Otaviano Ribeiro Negrão**

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Departamento Acadêmico de Mecânica,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Laboratório de  
Ciências Térmicas, negrao@cefetpr.br, Curitiba, PR, Brasil

**Socrates Fofano**

Petrobrás/Unidade de Negócio da Industrialização do Xisto, fofano@petrobras.com.br - São  
Mateus do Sul, PR, Brasil

***Resumo.** Nas operações de refino do petróleo, o craqueamento catalítico é utilizado com o objetivo de aumentar a fração de leves (gasolina e gás). Para isso, utiliza-se entre outras variáveis de controle, a temperatura e adição de óxidos como catalisadores do processo. Sendo assim, o processo de craqueamento produz condições de operação muito severas para os equipamentos. Esta severidade apresenta-se pela corrosão, fluência e/ou desgaste erosivo. A utilização de materiais inadequados, implica em redução de vida de componentes/equipamentos, com conseqüente impacto sobre a confiabilidade/ disponibilidade das plantas e sobre os resultados financeiros do negócio, além de aumentar os riscos de danos ao meio ambiente. Assim, de modo a permitir análise anterior à aplicação de novos materiais, são apresentados os estudos preliminares realizados com o objetivo de construir um erosímetro no qual sejam reproduzidas as condições de desgaste erosivo existentes em conversores de Unidades de Craqueamento Catalítico. O projeto do equipamento contempla a possibilidade de simulação das variáveis de processo em condição de maior severidade que as existentes nos atuais equipamentos de plantas industriais, através do controle da velocidade das partículas, fração de partículas presentes no meio, temperatura do conjunto gás/partícula/corpo de prova, tamanho das partículas e ângulo de incidência. Considerando que as condições de escoamento gás-sólido em processos de craqueamento catalítico são fundamentais para a definição de variáveis de projeto, também é apresentado um modelo aproximado do processo. Os resultados indicam que é possível estimar a velocidade final das partículas em função da velocidade do gás em condições de controle adequado para validação de ensaios.*

***Palavras-chave:** Erosímetro, Altas temperaturas, Desgaste.*

### **1. INTRODUÇÃO**

O craqueamento catalítico é um processo de refino que visa aumentar a produção de gasolina e GLP de uma refinaria através da conversão de cortes pesados, provenientes da destilação do petróleo

(gasóleo e resíduos), em frações mais leves. Este processo é largamente utilizado em todo o mundo, uma vez que a demanda de gasolina em vários países é superior a dos óleos combustíveis. O craqueamento catalítico corrige a produção de gasolina e GLP, suplementando a diferença entre a quantidade obtida diretamente do petróleo e a requerida pela refinaria de modo a atender o mercado de sua área de influência.

O processo de craqueamento consiste na quebra (*cracking*) de moléculas pesadas presentes nos gasóleos e resíduos, por ação de um catalisador à base de sílica-alumina a altas temperaturas. A ruptura das ligações possibilita o aparecimento de moléculas leves, principalmente compostos de 3 a 12 átomos de carbono (GLP e gasolina). (Abadie, 1997).

A presença de catalisadores e a temperatura elevada provocam um grande desgaste do equipamento devido à abrasividade das partículas de catalisadores. Por sua natureza, estas partículas têm elevada dureza e quando em movimento com o fluido, em velocidades de até 40m/s, colidem inúmeras vezes com as paredes dos dutos e componentes do equipamento, promovendo o desgaste erosivo. O desgaste pode ser ainda agravado pelas elevadas temperaturas envolvidas no processo, da ordem de 1000 K.

O presente trabalho apresenta os estudos de modelação e planeamento para construção de um erosímetro a altas temperaturas, onde através do conhecimento e controle das variáveis do processo seja possível simular as condições de desgaste erosivo existentes em conversores de unidades de craqueamento catalítico, minimizando assim os custos de desenvolvimento de novos materiais e/ou processos.

## **2. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA**

Em virtude da falta de equipamentos para o estudo do desgaste erosivo a altas temperaturas, tem-se despendido muito tempo e dinheiro no desenvolvimento ou otimização de novos materiais e processos. Isto ocorre principalmente em função dos custos envolvidos na avaliação do desempenho em plantas-piloto ou através de sistemas de teste conectados diretamente a equipamentos em operação. A segunda possibilidade - normalmente a mais utilizada - além de não permitir constante atuação sobre as variáveis interferentes no processo, fornece resultados em intervalos significativamente longos, visto que a avaliação somente ocorrerá durante as paradas de manutenção das unidades (entre 18 e 48 meses). A construção de um equipamento que permita a avaliação de materiais submetidos a desgaste erosivo em altas temperaturas preenche, portanto, uma lacuna existente entre o desenvolvimento de materiais e sua aplicação industrial.

Em conversores de unidades de Craqueamento Catalítico, algumas variáveis de operação são determinantes no desempenho do processo e dos materiais e, conseqüentemente, são consideradas críticas no desenvolvimento de um equipamento que o simule:

### **2.1 Temperatura de operação**

Alterações na temperatura mudam drasticamente o rendimento do processo, bem como as propriedades dos materiais, induzindo mudanças microestruturais tais como: precipitação, coalescimento e mudança de fases. Considerou-se, para efeito de dimensionamento mecânico e térmico do erosímetro, a realização de ensaios nas temperaturas de trabalho dos componentes objeto de análise. Para as condições normais de operação, a temperatura de trabalho oscila entre 300°C e 700°C.

### **2.2 Velocidade das partículas**

Dependendo da região de interesse, a velocidade varia entre 10 e 50 m/s. A velocidade está diretamente ligada à vazão e o tempo de residência do gasóleo na *unidade de craqueamento*, influenciando assim o rendimento e o desgaste.

### **2.3 Ângulo de ataque**

O ângulo de ataque é uma variável de projeto, sendo que na unidade existem condições que variam desde 0° até 90°.

## 2.4 Fração de partículas

A fração de catalisador também oscila de região para região na Unidade de Craqueamento. Estes valores estão entre 5 kg a 20 kg de partículas / m<sup>3</sup> de gás.

## 3. DESCRIÇÃO DA BANCADA EXPERIMENTAL

O objetivo do erosímetro é proporcionar a aceleração das partículas de catalisador em alta temperatura propiciando condições para que essas partículas colidam com uma amostra de material onde o desgaste será posteriormente analisado. De forma a facilitar o experimento, o gás a ser utilizado será o ar atmosférico.

O aparato experimental a ser construído pode ser descrito através da Fig. 1. O erosímetro consiste de seis partes principais:

- 1 – Sistema de alimentação de ar, composto por compressor, filtros, reguladores de pressão e fluxímetros;
- 2 – Sistema de aquecimento, composto de um aquecedor elétrico;
- 3 – Sistema de alimentação de partículas, composto de um silo aquecido eletricamente com capacidade de armazenamento de até 60 litros de catalisador;
- 4 – Acelerador de partículas, composto de um tubo de alumina onde as partículas serão aceleradas até que possam atingir a velocidade do ar;
- 5 – Suporte para a amostra com controle do ângulo de ataque das partículas entre 90° e 180°;
- 6 – Coletor de partículas, composto de um ciclone para separação ar/sólidos.

Inicialmente, o ar é admitido no compressor e a sua pressão é elevada, de modo a permitir seu posterior controle através de uma válvula reguladora de pressão, ajustada para as condições requeridas no ensaio. O ar é então aquecido através de uma resistência elétrica e entra em contato com as partículas de catalisador fornecidas pelo alimentador. No tubo de alimentação, as partículas são aceleradas até que atinjam a velocidade média do ar. Nessa condição, são projetadas sobre a amostra, de modo a simular a situação verificada em operação em um conversor industrial. Após a colisão, as partículas são separadas do ar por um ciclone antes que o ar retorne à atmosfera, de descarte de poeiras na atmosfera possibilitando a recuperação do catalisador para reprocessamento.

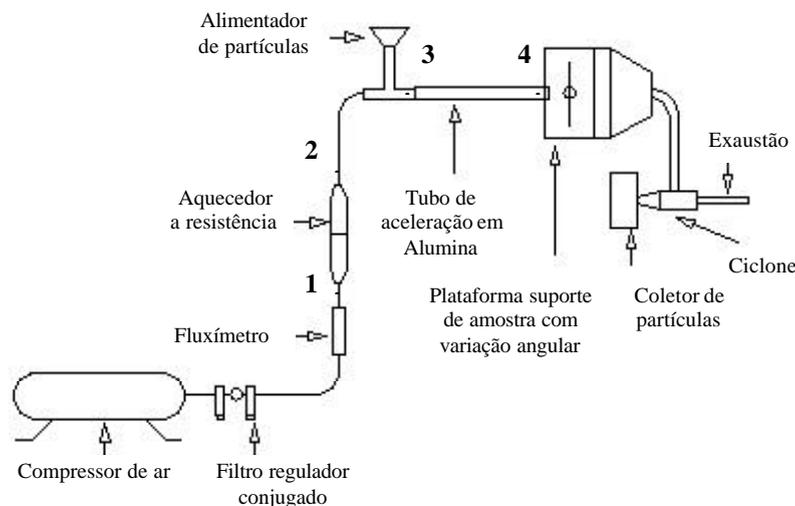


Figura 1. Diagrama esquemático do erosímetro a altas temperaturas.

#### 4. MODELAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO

A seguir é apresentada uma análise teórica aproximada do escoamento que irá definir algumas das variáveis de projeto, tais como: perda de carga no sistema, vazão de ar necessária e as taxas de transferência de calor que proporcionem as velocidades e temperaturas de interesse. Essa análise ainda irá contribuir na seleção dos equipamentos da bancada.

O escoamento de ar-catalisador é caracterizado como um escoamento bifásico gás-sólido. Uma vez que o ar pode atingir velocidades de até 80m/s e devido a significativa variação da temperatura do ar (até 720°C), o escoamento pode ser considerado como compressível. Vários trabalhos têm sido desenvolvidos para estudar este tipo de escoamento. Entre estes, pode-se citar os trabalhos de Akilli et al. (2001), Arastoopour (2001), Mason e Leva (2001), Mason e Li (2000), Tashiro et al. (2001), Triesch e Bohnet (2001), Varaksin et. al (2000), Wassen e Frank (2001) e Zhang e Reese (2000).

O modelo adotado neste estudo é baseado na aplicação das leis de conservação da massa, da energia e da quantidade de movimento. O escoamento entre a válvula reguladora de pressão e a posição da amostra será considerado como unidimensional ao longo de um tubo de seção transversal constante.

##### 4.1 Escoamento Gasoso

O escoamento a ser tratado é diluído e segundo Zhang e Reese (2001), o movimento das partículas em escoamentos diluídos (fração volumétrica de sólidos inferior a 0,1%) não interfere no escoamento do gás. Desta forma, o escoamento da fase gasosa será considerado independente do escoamento da fase sólida.

Assumindo a hipótese de escoamento unidimensional em regime estacionário, a equação da conservação da massa terá a seguinte forma:

$$\int_{sc} \mathbf{r} v dA = 0 \quad \dot{m} = \mathbf{r}vA = cte \quad (1)$$

onde  $\mathbf{r}$  é a massa específica do ar,  $v$ , a velocidade do ar,  $A$ , a área da seção transversal e  $\dot{m}$ , o fluxo de massa de ar. Sendo as diferenças de níveis muito pequenas, a conservação da quantidade de movimento para um escoamento unidimensional pode ser escrita como:

$$\frac{dp}{\mathbf{r}} + vdv = f \frac{v^2}{2d} dL \quad (2)$$

sendo  $p$ , a pressão,  $f$ , o fator de atrito,  $d$ , o diâmetro da tubulação e  $L$ , o comprimento do tubo. Utilizando a Eq. (1), juntamente com a equação dos gases perfeitos, rearranjando e integrando, tem-se:

$$\int_1^2 \frac{pdp}{RT} + G^2 \ln\left(\frac{\mathbf{r}_1}{\mathbf{r}_2}\right) = f \frac{G^2}{2} \frac{L}{d} \quad (3)$$

onde  $G = \dot{m}/A$ ,  $R$  é a constante do gás para o ar e  $T$ , a temperatura do escoamento. Os índices 1 (um) e 2 (dois) indicam dois pontos ao longo do escoamento. Aplicando o balanço de energia ao escoamento unidimensional estacionário, desprezando a variação da energia cinética e considerando o ar como gás perfeito, obtém-se a seguinte equação:

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p \int_1^2 dT \quad (4)$$

onde  $\dot{Q}$  é a taxa de calor a ser transferida para o escoamento,  $c_p$  é o calor específico do ar e  $T$  a temperatura.

## 4.2 Escoamento da Fase Sólida

O escoamento da fase sólida é considerado independente do escoamento da fase gasosa. Além disso, cada partícula terá comportamento independente. Assim como em Akilli et. al (2001), será empregado uma aproximação Lagrangiana para descrever a trajetória e velocidade de uma partícula. A equação da conservação da quantidade de movimento para a partícula terá, então, a seguinte forma:

$$m_p \frac{dv_p}{dt} = F_d \quad (5)$$

onde  $m_p$  é a massa da partícula,  $v_p$  a velocidade da partícula,  $t$  o tempo,  $F_d$  a força de arrasto. Considerando a partícula como uma esfera, a força de arrasto pode ser escrita como (Zhang e Reese, 2001):

$$F_d = \frac{\rho}{8} r_p d_p^2 C_d (v - v_p)^2 \quad (6)$$

Na Eq. (6),  $\rho$  é a densidade da partícula,  $d_p$ , o diâmetro da partícula,  $C_d$ , o coeficiente de arrasto. O coeficiente de arrasto (Zhang e Reese, 2001) para  $1 < Re_p < 1000$  é dado por

$$C_d = 0.28 + \frac{6}{\sqrt{Re_p}} + \frac{21}{Re_p} \quad (7)$$

onde  $Re_p$  é o número de Reynolds da partícula, dado como:

$$Re_p = \frac{d_p (v - v_p)}{\nu} \quad (8)$$

sendo  $\nu$  é a viscosidade cinemática do gás.

## 4.3 Solução das Equações

A Eq. (3), juntamente com a Eq. (4), é resolvida numericamente e de forma iterativa, utilizando a regra do trapézio para o seu primeiro termo. A solução proporciona a perda de carga ao longo do escoamento.

Sendo o coeficiente de arrasto dependente da velocidade da partícula de maneira não linear, a Eq. (5) não possui solução analítica. Esta equação também foi resolvida numericamente utilizando o método de Runge-Kutta.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Resultados do modelo

É importante notar que o ar ao longo do escoamento sofre uma grande variação de temperatura em virtude do seu aquecimento. Esta elevação de temperatura proporciona uma redução significativa da densidade, fazendo com que haja um aumento de sua velocidade. Apesar do aumento da velocidade provocar uma queda mais acentuada de pressão, a solução da Eq. (3), para uma velocidade final máxima do ar de 80m/s, indica que essa redução está em torno de 0,2 bar. Portanto, toda a corrente de ar deverá operar numa pressão próxima à atmosférica. Sendo pequena esta perda de carga não deve

haver uma preocupação maior na especificação dos elementos de tubulação, mas somente da válvula redutora de pressão.

A Eq. (4) permite a obtenção da potência necessária para o aumento requerido da temperatura do ar. Assumindo velocidade final para o ar de 80 m/s e considerando a variação na densidade do ar, calculam-se as vazões para diferentes valores de temperatura após o aquecedor. Estes valores são mostrados na tabela 1, juntamente com as potências a ser dissipada pelo aquecedor para atingir as temperaturas desejadas. Note que, com o aumento da temperatura de trabalho, a vazão mássica necessária para o ar atingir a velocidade desejada deve ser reduzida, implicando também na redução da potência de aquecimento. Sendo assim, a potência não aumenta proporcionalmente à variação de temperatura.

Tabela 1. Vazões e potências para elevar a temperatura do ar na saída do aquecedor para uma velocidade do ar de 80m/s.

| Temperatura<br>(°C) | Vazão mássica<br>(kg/s) | Vazão volumétrica<br>(m <sup>3</sup> /s) | Potência<br>(W) |
|---------------------|-------------------------|--|-----------------|
| 100                 | 13,4 x10 <sup>-3</sup>  | 11,3 x10 <sup>-3</sup>                   | 1010            |
| 200                 | 10,6 x10 <sup>-3</sup>  | 8,9 x10 <sup>-3</sup>                    | 1858            |
| 300                 | 8,7 x10 <sup>-3</sup>   | 7,4 x10 <sup>-3</sup>                    | 2410            |
| 400                 | 7,4 x10 <sup>-3</sup>   | 6,3 x10 <sup>-3</sup>                    | 2798            |
| 500                 | 6,5 x10 <sup>-3</sup>   | 5,5 x10 <sup>-3</sup>                    | 3086            |
| 600                 | 5,7 x10 <sup>-3</sup>   | 4,8 x10 <sup>-3</sup>                    | 3308            |
| 700                 | 5,1 x10 <sup>-3</sup>   | 4,3 x10 <sup>-3</sup>                    | 3484            |
| 800                 | 4,7 x10 <sup>-3</sup>   | 3,9 x10 <sup>-3</sup>                    | 3627            |

Na Fig. 2, tem-se dois conjuntos de curvas, as da esquerda mostram a relação velocidade da partícula-velocidade do ar ( $V_p/V$ ) com o tempo, já as três curvas à direita mostram o deslocamento da partícula com o tempo. Considerando que uma partícula sólida parte do repouso a sua velocidade tende à velocidade do gás. Quanto maior a velocidade do gás, menor o tempo para que a partícula atinja a sua velocidade. Para a velocidade de 30m/s, a partícula atinge 90% da velocidade do ar em 0,05s e se desloca 1,0m. Para  $v=50$ m/s, o tempo necessário para a partícula atingir 90% da velocidade do ar é de 0,04s e o seu deslocamento de 1,4m. Enquanto que para  $v=70$ m/s, o valor de 90% da velocidade do ar é alcançada pela partícula em 0,032s e o deslocamento 1,5m. Portanto, um tubo de 1,5 m seria suficiente para acelerar as partículas até a valores próximos à velocidade do ar, em todas situações.

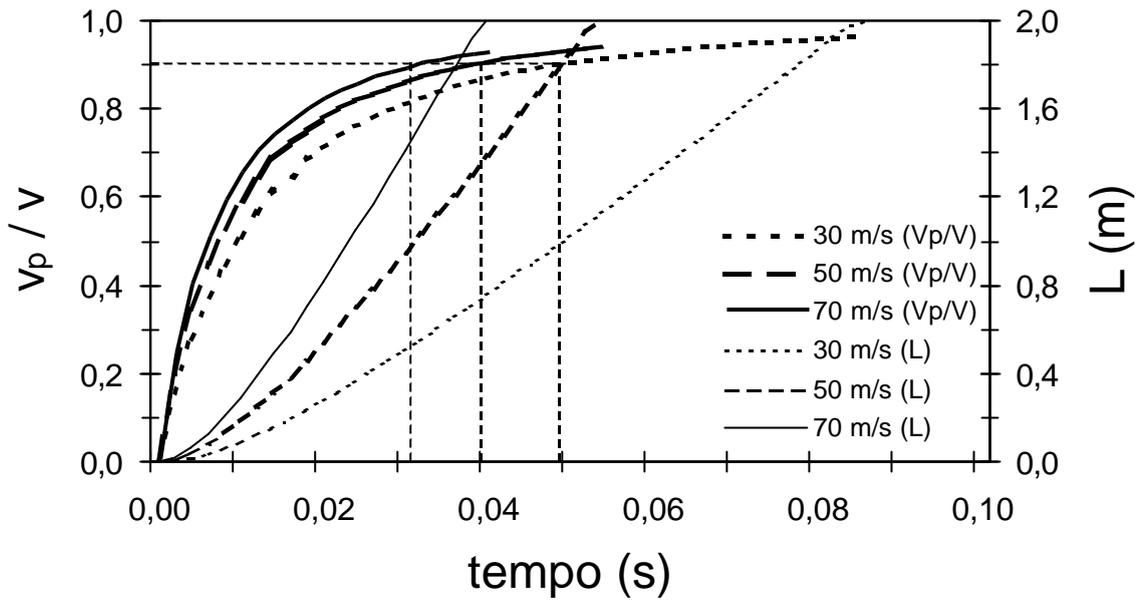


Figura 2. Variação da relação velocidade da partícula -velocidade do ar e deslocamento da partícula com o tempo, para várias velocidades do ar.

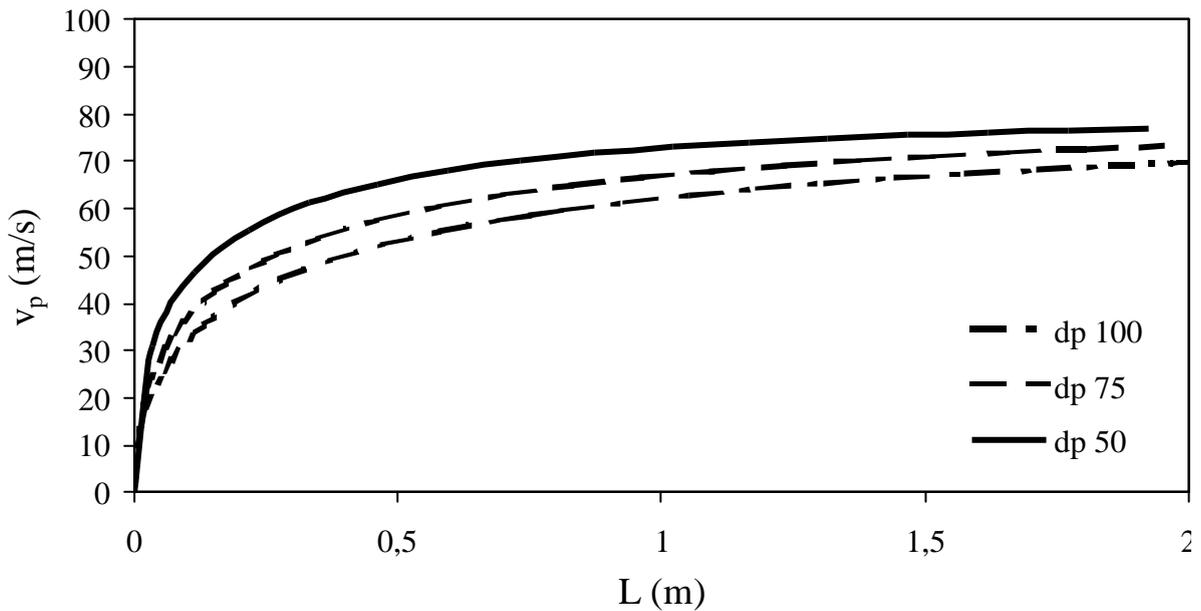


Figura 3. Velocidade da partícula em função do seu deslocamento para três diâmetros de partícula e uma velocidade do ar de 80m/s.

Na Fig. 3 tem-se a variação da velocidade da partícula com o comprimento para três diâmetros de partícula e velocidade do ar igual a 80 m/s. Como podemos ver, quanto maior o diâmetro da partícula menor será a sua velocidade. Para uma distância de 1,5 m e diâmetro de partículas de 75  $\mu$ m (diâmetro médio do catalisador) a velocidade da partícula será de aproximadamente 70 m/s.

Baseado nos resultados obtidos (ver Tabela 1), pode-se dizer que a potência máxima para aquecer o ar em todas as condições de trabalho deve ser de no mínimo de 3700W. Além disso, o

comprimento do tubo de aceleração deverá ser de no mínimo de 1,5 m para que a velocidade das partículas de catalisador atinja aproximadamente 90% da velocidade do ar.

## **5.2 Seleção dos Componentes**

O equipamento deverá atender uma larga faixa de operação: velocidades das partículas entre 30 e 80m/s e temperaturas entre 25°C e 700°C, fração de partículas de 5 a 40 kg/m<sup>3</sup> de gás ou 3,65.10<sup>-3</sup> a 58.10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, ângulo de ataque de 0 a 90° e tamanho de partículas de 10 a 150 µm. O objetivo será então selecionar os equipamentos necessários que atendam às condições acima. Os equipamentos a serem selecionados são descritos abaixo:

### **5.2.1 Sistema de Alimentação de Ar**

Os cálculos realizados mostraram que para atingir os parâmetros desejados, é necessário um compressor que forneça (678 l/min) de ar seco. Sendo assim foi selecionado um compressor de 40 PCM (1132 l/min) e adotado um sistema de reguladores, filtros (elemento filtrante micra), válvula e fluxímetro, permitindo assim o fornecimento de ar seco e isento de óleo.

### **5.2.2 Sistema de Aquecimento**

O ar será aquecido por um aquecedor elétrico INL 200 da família de aquecedores “Inline Heaters” da Farnam Custom Products. Este aquecedor consiste em um tubo de aço inoxidável de duas polegadas de diâmetro e treze de comprimento. A temperatura máxima de trabalho é 710° C a uma potência de 12500 W e vazão de até 100 PCM (2831L/min). A temperatura será controlada pela potência fornecida ao sistema através de controle eletrônico do ângulo de disparo. O sistema terá também uma proteção para que a temperatura não exceda à máxima suportada pelo aquecedor. Este controle será realizado através de um contato bimetálico responsável pelo desligamento do sistema.

### **5.2.3 Alimentação de Partículas**

Antes de injetar as partículas por gravidade no sistema, estas serão aquecidas até a temperatura de operação. A quantidade de agente abrasivo é controlada por um sistema com orifícios cônicos intercambiáveis de diferentes diâmetros fazendo com que a quantidade de partículas abrasivas possa ser controlada e limitada a um número máximo no tempo. A capacidade de carga deste sistema é de 50 litros o que permitirá um tempo de ensaio de até 11 horas à vazão máxima de 100 g/min. Nesta situação está sendo desconsiderada a influência da variação da altura da coluna de partículas em sua vazão. O reservatório será construído em aço inoxidável AISI – 310 envolto por um forno para o aquecimento das partículas.

### **5.2.4 Acelerador de Partículas**

O acelerador de partículas consiste em um tubo de alumina com diâmetro interno de 0,015m e 1,5 m de comprimento isolado termicamente. Após as partículas serem injetadas no circuito de ar quente ( $V \neq 0$ ) elas se movimentarão na direção do fluxo. Considerando que a força motriz é exercida pelo coeficiente de arrasto, elas deverão ser aceleradas até a velocidade de ensaio. O comprimento de 1,5 m foi calculado de forma a garantir que as partículas atinjam pelo menos 90% da velocidade do ar, sendo que quanto maior a velocidade do ar maior será a relação velocidade das partículas/velocidade do ar, atingindo-se 97% para velocidade do ar de 80 m/s (Penteado et al., 2001).

### **5.2.5 Suporte da Amostra**

O suporte de amostras será articulado de modo a permitir a variação do ângulo de incidência das partículas entre 90° e 180°. O aquecimento da amostra ocorrerá pelo seu contato com o ar. Sendo assim antes de iniciar o experimento, somente ar quente deverá escoar pelo aparato, de forma a

produzir o aquecimento da amostra. A temperatura do corpo de prova será monitorada por termopares localizados na parte posterior da amostra.

### 5.2.6 Coletor de Partículas

Após a passagem do ar e partículas pela amostra será feita a exaustão do ar para a atmosfera. Para isto, será instalado um sistema composto de um separador gás/sólido de forma a retirar os particulados, evitando-se assim a contaminação do ambiente. A medição desta massa na unidade de tempo poderá também ser utilizada como forma de calibração do sistema de alimentação de partículas.

## 6. CONCLUSÕES

Através dos resultados apresentados, pode-se notar que a perda de carga na tubulação será pequena e, portanto, não há necessidade de uma preocupação maior com o dimensionamento das tubulações. Entretanto deve-se especificar uma válvula de controle de vazão que garanta a velocidade desejada do escoamento.

Nota-se que a elevação de temperatura reduz a massa específica do ar e por consequência a velocidade do ar aumenta. Para que isto não aconteça, a vazão de ar deve de ser reduzida.

As Fig.s 2 e 3 permitem estabelecer as condições adequadas de operação do erosímetro, visto o comportamento das partículas para elevadas velocidades do ar. Observa-se que, para elevadas velocidades do ar, a velocidade média das partículas se aproxima rapidamente à do fluido de arraste.

## 7. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Finep-CTPETRO/PETROBRÁS pelo suporte financeiro ao projeto OCUCC (Otimização e Controle de Unidades de Craqueamento Catalítico), ao Eng. Alberto Jamhour da PETROBRAS/SIX pela colaboração, a todos os colegas do LIM e LACIT e em especial ao Prof. Ricardo Mazza.

## 8. REFERÊNCIAS

- Abadie, E., 1997, **Apostila Craqueamento Catalítico**, Petrobrás, 2<sup>a</sup> versão,
- Akilli, H., Levy, E. K. e Sahin, B., 2001, **Gas-solid flow behavior in a horizontal pipe after a 90° vertical-to-horizontal elbow**, Power Technology, vol. 116, pp. 43-52.
- Arastoopour, H., 2001, **Numerical simulation and experimental analysis of gas/solid flow systems: 1999 Fluor-Daniel Plenary lecture**, Powder Technology, vol. 119, pp. 59-67.
- Mason, D. J. e Leva, A., 2001, **A model for non-suspension gas-solids flow of line powders in pipes**, International Journal of Multiphase Flow, vol. 27, pp. 415-435.
- Mason, D. J. e Li, J., 2000, **A novel experimental technique for the investigation of gas-solid flow in pipes**, Power Technology, vol. 112, pp. 203-212.
- Penteado, J. C., Negrão, C. O. R., Serafim, C. L., Torino, T., Borges, P. C., 2001, **Estudos Preliminares para Projeto e Construção de um Erosímetro a alta temperatura - Modelação**, Seminário PRH 10 e 24, 22 de Novembro, Curitiba.
- Tashiro, H., Watanabe, E., Shinano e H., Funatsu, K., Tomita, Y., 2001, **Effect of gas-fine particle suspension of coarse in a horizontal pipe**, International Journal of Multiphase Flow, vol. 27, pp. 2001-2013.
- Triesch, O. e Bohnet, M., 2001, **Measurement and CFD prediction of velocity and concentration profiles in a decelerated gas-solids flow**, Powder Technology, vol. 115, pp. 101-113.
- Varaksin, A., Yu., Polezhaev, Yu. V. e Polyakov, A. F., 2000, **Effect of particle concentration on fluctuating velocity of the disperse phase for turbulent pipe flow**, International Journal of Heat and Fluid Flow, vol. 21, pp. 562-567.
- Wassen, E., Frank, Th., 2001, **Simulation of cluster formation in gas-solid flow induced by particle-particle collisions**, International Journal of Multiphase Flow, vol. 27, pp. 437-458.

Zhang, Y. e Reese, J. M., 2000, **Particle-gas turbulence interactions in a kinetic theory approach to granular flows**, International Journal of Multiphase Flow, vol. 27, pp. 1945-1964.

## **ABSTRACT**

### **PRELIMINARY STUDIES TO DESIGN AND BUILD A HIGH TEMPERATURE EROSION EXPERIMENTAL APPARATUS – MODELLING AND EXPERIMENTAL PLANNING**

*In oil refining, the catalytic cracking is employed to increase the fraction of light products (gasoline and gas). This is obtained by controlling the temperature of the process and the catalyst flow. Therefore, the high temperature and speed of the catalyst produces very severe operating conditions. This results in corrosion, fluency and erosion wear of the equipment. The current work presents a preliminary study to build an experimental apparatus to analyze the erosion in Fluid Catalytic Cracking Units. The equipment must be able to reproduce the conditions or even more severe than those found in the petrochemical industry. In other words, the apparatus must control the particle size, speed and fraction, the flow temperature and the angle of incidence. Additionally, a simplified model of the two-phase (catalyst-gas) flow is presented. The equations are based on the conservation principles of mass, momentum and energy. The results show the particle speed as a function of the gas speed, the pressure loss and heat transfer rate necessary to heat up the flow.*

*Key words: High Temperature, Erosion wear .*