

## OPERACIONABILIDADE DA UNIDADE DE TRANSFERÊNCIA DE HEXAFLUORETO DE URÂNIO EM FASE GASOSA

Fábio Branco Vaz de Oliveira, Elita Urano de Carvalho Frajndlich e Michelangelo Durazzo \*

\*Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN/CNEN - SP  
Rua do Matão, Travessa R, n.º. 400 - Cidade Universitária  
CEP.: 05508-900, São Paulo, Brasil  
e-mail: fabio@net.ipen.br

### RESUMO

O objetivo de uma unidade de transferência de hexafluoreto de urânio é a realização de operações de transporte, dentro de condições estabelecidas em normas, de determinadas quantidades deste material, inicialmente contido em recipientes padrão, para um ou mais outros recipientes. Para tanto, devido às necessidades internas e exigências quanto à segurança e criticalidade relativamente às operações de hidrólise, foi projetada e instalada, nas dependências da Divisão de Processos Químicos, uma unidade capaz de realizar tais operações. O presente trabalho tem como objetivo descrever tal unidade, bem como apresentar os resultados dos primeiros testes operacionais.

**Palavras-chave:** hexafluoreto de urânio, propriedades físicas, transferência.

### I. INTRODUÇÃO

Operações de transferência de hexafluoreto de urânio devem ser realizadas de modo a serem obedecidos requisitos de segurança e criticalidade, descritos de maneira extensa e detalhada nas normas ORO-651 [1] e ANSI N14.1-71 [2], dada a toxidez química deste material [3]. Uma unidade deste tipo deve, portanto, ser projetada de modo a permitir o isolamento completo do material do ambiente, conduzindo-se as operações em sistema fechado. Para tanto, opera-se com o material em fase líquida ou gasosa, procedendo-se assim a uma transformação física do hexafluoreto, inicialmente sólido no cilindro padrão ou primário, à temperatura ambiente.

A transferência em fase líquida é conduzida invertendo-se a posição do cilindro primário ou fonte, permitindo-se o escoamento para o cilindro coletor por ação da gravidade. Em fase gasosa, o cilindro é disposto em sua posição normal, e a força motriz do processo é o gradiente de temperaturas criado entre o cilindro fonte e o coletor. Em ambos os casos efetua-se externamente o aquecimento do cilindro primário, até a obtenção das temperaturas requeridas ao processo. A coleta é efetuada transformando-se novamente o material ao estado sólido, por meio de refrigeração conveniente.

Por não haver a necessidade de alterar-se a disposição do cilindro, existindo sempre o risco de acidentes em seu manuseio, operações em fase gasosa são consideradas

mais seguras, por minimizar-se o risco de acidentes. Com base neste critério, a operação de transferência em fase gasosa foi a adotada pela Divisão de Processos Químicos do Departamento do Ciclo do Combustível do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, partindo-se do material contido inicialmente em cilindros padrão 5 A, coletando-o em cilindros ou ampolas com capacidade de carga máxima de 6,5 kg.

Nas seções seguintes estão descritos os equipamentos utilizados para a montagem da linha, bem como os resultados dos primeiros testes operacionais. A importância de uma instalação como esta reside no fato de que ela permite que se trabalhe em unidades subsequentes do departamento com quantidades de material em conformidade com os requisitos de criticalidade a serem obedecidos.

### II. DESCRIÇÃO DA UNIDADE

A unidade de transferência gasosa de hexafluoreto de urânio do IPEN foi construída em sala anexa às instalações da Divisão de Processos Químicos, sendo constituída pelas seguintes subunidades: aquecimento, vácuo, refrigeração ou coleta e segurança, cada uma das quais respondendo por um conjunto de operações bem definidas [4].

A subunidade de aquecimento é constituída por um forno de formato cilíndrico, vertical, resistivo, cujas finalidades principais são o acondicionamento do cilindro

primário e a transformação sólido-vapor do hexafluoreto contido em seu interior. Conforme recomendação existente em normas [1, 2], procurou-se evitar o contato direto entre as superfícies do cilindro e da fonte de calor, por problemas de segurança. O ajuste de temperatura do forno pode ser realizado por meio de controlador apropriado, e o máximo valor possível de ser obtido é de 250°C embora, em condições normais, não seja este o valor utilizado.

Face a alta reatividade química do hexafluoreto de urânio, principalmente frente a água, e à necessidade de se evitar acúmulo de material nas tubulações da linha, põe-se em funcionamento a subunidade de vácuo. Esta é composta por uma bomba de vácuo, duplo estágio, e de armadilhas (“traps”) colocadas antes da bomba e no interior de recipiente criogênico, para evitar o transporte de resíduos para o seu interior. Pretende-se assim efetuar as operações de transferência em um ambiente livre de contaminantes que possam afetar a pureza final do material coletado.

A unidade de refrigeração ou de coleta do material é composta por um cilindro coletor (secundário) ou ampola, com capacidade de carga projetada para 6,5 kg, acondicionada no interior de um vaso (“dewar”) criogênico. Sua principal finalidade é a coleta da quantidade necessária de material para o processamento posterior na unidade de hidrólise. Uma refrigeração adequada da ampola é essencial para o estabelecimento de um gradiente térmico suficientemente elevado entre o material que sai do cilindro primário e o que chega na ampola, e que na maioria das vezes é o responsável por uma elevada velocidade de operação. Ambos os equipamentos são colocados sobre uma balança, por meio da qual efetua-se o controle da massa transferida no processo.

Todas estas subunidades constituem a chamada linha de transferência propriamente dita, cujas tubulações da foram confeccionados em aço inoxidável e conexões flangeadas CF16. Fez-se necessária, ainda, a instalação de uma unidade de segurança, disposta sobre as tubulações da linha, e que tem a finalidade principal de remover material proveniente de eventuais vazamentos, enviando-os para uma unidade lavadora de gases, existente externamente a instalação. Todas as operações de transferência são, e devem ser, realizadas com esta subunidade em funcionamento.

A instalação também dispõe de controladores de pressão e temperatura, atualmente funcionando apenas como indicadores. Para medidas de pressão são utilizados um Pirani, destinado a valores de 1 a  $10^{-3}$  mbar e utilizado somente quando do funcionamento da bomba de vácuo, e um outro medidor, utilizado na operação de transferência propriamente dita, destinado a medir valores de 62,5 a 4000 mbar. Para controle de temperatura dispõe-se de um equipamento para medir valores entre -200 e 850°C, atualmente em fase de calibração, feita por equipamento eletrônico com programa apropriado de calibração instalado. Por meio destes equipamentos foi efetuado o acompanhamento dos testes operacionais, descritos na seção seguinte.

Na Figura 1 é fornecida uma fotografia da unidade de transferência, previamente à realização de uma operação. Cada letra da figura relaciona-se aos seguintes equipamentos:

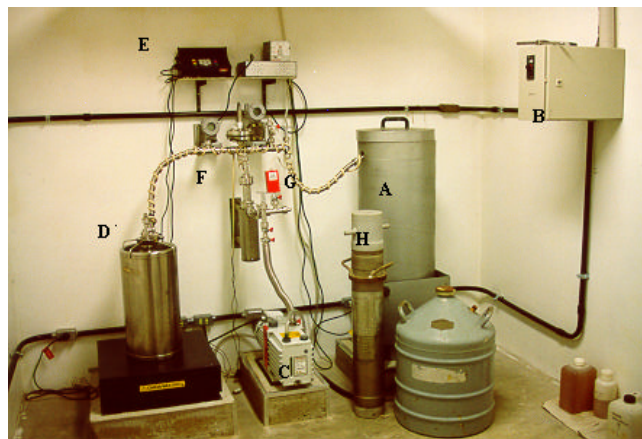


Figura 1 - Linha de transferência gasosa de hexafluoreto de urânio existente e em funcionamento nas instalações da Divisão de Processos Químicos do IPEN.

- A: forno cilíndrico vertical;
- B: controle de temperatura do forno;
- C: bomba de vácuo ;
- D: ampola coletora mais vaso criogênico;
- E: indicador digital da balança eletrônica;
- F: medidores de pressão e temperatura da linha;
- G: Pirani;
- H: cilindro 5 A ou primário.

### III. PARTE EXPERIMENTAL

Após a montagem e verificação do funcionamento dos equipamentos da linha, foram realizados alguns testes operacionais, cujos objetivos principais foram a verificação do comportamento do material transferido face à variação de temperatura da fonte de aquecimento, bem como o estabelecimento das condições ideais para a transferência do hexafluoreto de urânio contido no interior do cilindro 5A.

O procedimento adotado para a realização dos testes foi o seguinte: previamente à conexão do cilindro 5A à linha, o mesmo foi pesado em balança eletrônica, para a verificação de seu peso bruto e, com isso, determinou-se a quantidade de hexafluoreto de urânio existente em seu interior. A seguir o cilindro foi conectado, efetuando-se então a passagem das cintas de aquecimento ao redor das tubulações, conectando-as na rede elétrica. Procedeu-se a realização de vácuo, até que o valor de pressão indicado no Pirani permanecesse constante. Ajustou-se o variac do controlador de temperatura do forno no valor desejado, abrindo-se então a válvula do cilindro primário e da ampola coletora, acompanhando-se a variação no valor de pressão indicado no sensor de pressão em função do tempo de operação. Quando necessário utilizou-se o resfriamento externo da ampola coletora com nitrogênio líquido, colocado no vaso criogênico. A variação de massa de hexafluoreto transferida foi acompanhada no indicador da balança, previamente tarada. Após a coleta da massa desejada, a válvula da ampola coletora e do cilindro primário foram fechadas, efetuando-se a derrubada da potência do forno. A seguir efetu-

ou-se a desconexão do cilindro coletor da linha, enviando-o a seguir para a unidade de hidrólise.

Os resultados obtidos foram colocados em gráficos, dados na seção seguinte.

#### IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas de um dos testes realizados, mostrando a variação da pressão e da massa em função do tempo, são mostradas abaixo:

**Error! Not a valid link.**

Figura 2 - Curvas obtidas de testes na unidade de transferência.

Podem ser observados 2 comportamentos predominantes distintos. Inicialmente, quando do acionamento da potência do forno, o processo de transferência de massa do cilindro primário ao coletor é lento, tendendo a estabilização quando da chegada ao patamar de mudança de fase do material. O sistema todo permanece neste patamar por um dado período de tempo, após o qual a cinética de transferência sofre um grande aumento, apresentando um comportamento aproximadamente constante em função do tempo, com o concomitante aumento de pressão do fluido até o desligamento do forno, quando um progressivo decréscimo em seu valor é observado. Observou-se, durante todo o processamento, se havia a ocorrência de vazamentos ou qualquer outro tipo de comportamento anômalo ao esperado. Felizmente, isto não ocorreu em nenhum dos casos, comprovando-se a confiabilidade da instalação.

Comparando-se os dados obtidos de pressão com os existentes na literatura, pode-se concluir que o comportamento do material em nossos testes ajusta-se bem aos dados de OLIVER et al. [5], embora outros autores apresentem algumas expressões alternativas ao comportamento da pressão de vapor em função da temperatura  $P_v = f(T)$ . Um resumo das principais propriedades físicas é apresentado extensivamente em DE WITT [6], e especificamente sobre as propriedades termodinâmicas o trabalho de BRICKWEDDE et al. [7] também é uma boa fonte de consulta.

#### V. CONCLUSÕES

Testes foram realizados na unidade de transferência de hexafluoreto de urânio, demonstrando a sua capacidade na realização das operações de maneira segura uma vez que nenhuma intercorrência estranha ao processo foi observada.

Até a presente data, a linha transferiu aproximadamente 25 kg de hexafluoreto de urânio natural, destinados ao subsequente processamento na unidade de hidrólise. Entretanto, novos testes deverão ser realizados, objetivando uma melhor definição das condições de processamento deste material, tendo-se em mente trabalhos futuros com o material em estado enriquecido.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecimentos devem ser dirigidos para o M.Sc. Paulo Ernesto de Oliveira Lainetti e Eduardo C. Monteiro, do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, e também ao pessoal responsável pela unidade de transferência de hexafluoreto de urânio do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo, pelas discussões e sugestões oportunas à realização do projeto. Aos químicos e técnicos do MCR, pelo auxílio na montagem da linha.

#### REFERÊNCIAS

- [1] OAK RIDGE NATIONAL LABORATORIES, **Uranium Hexafluoride - Handling Procedures and Container Criteria**, norma ORO 651-1, 1966.
- [2] AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE, **Packaging of Uranium Hexafluoride for Transport**, norma ANSI 14.1-71, 1971.
- [3] Tannenbaum, A., **Toxicology of Uranium**, 1.ed., McGraw-Hill, N.Y., 1951.
- [4] Oliveira, F.B.V., **Unidade de Transferência de Hexafluoreto de Urânio**, relatório MCR-IPEN n° 11, março 1996.
- [5] Oliver, G.D. et al., **The Vapor Pressure and Critical Constants of Uranium Hexafluoride**, *Journal of the American Chemical Society*, v.75, 1953, p.2827-2829.
- [6] De Witt, R., **Uranium Hexafluoride - A Survey of the Physico-Chemical Properties**, *Goodyear Atomic Corporation*, boletim GAT-280, 1960.
- [7] Bricwedde, F.G. et al., **The Low Temperature Heat Capacities, Enthalpies and Entropies of  $UF_4$  and  $UF_6$** , *Journal of Chemical Physics*, v.16, 1948, p. 429-436.

**Abstract:** the main purpose of a transference unity is the transport of some quantities of uranium hexafluoride, obeying criticality and security conditions, for a given standard container to another one. To the attainment of the hidrolisis unity operation criticality requirements, a uranium hexafluoride gaseous transference unity was conceived and installed in IPEN Chemical Process Division (MCR), capable to carried out this type of unity operation. The present work describes such unity, as well presents the first results on the earlier operational tests.