

CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR: P&D E TECNOLOGIAS DE ARRASTE

Wagner dos Santos Oliveira

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP
Av. Lineu Prestes 2.242
05508-900 Butantã, São Paulo, SP, Brasil

RESUMO

O escopo deste trabalho é mostrar a importância das Tecnologias de Arraste no desenvolvimento do Ciclo do Combustível Nuclear, mas precisamente no denominado Projeto Conversão – PROCON. Essas atividades levaram ao desenvolvimento do projeto de equipamentos especiais, novos materiais metálicos e poliméricos.

Keywords: UF₆, fluorine, push technologies, technological forecasting

I. INTRODUÇÃO

Uma das etapas de desenvolvimento da pesquisa tecnológica é o que denominamos de **Tecnologia de Arraste ou Arrastante**, e que vai agregando, às diferentes fases do desenvolvimento, “ilhas de conhecimento”, que acabam por somar resultados, de tal modo a poder se atingir o alvo principal do projeto de pesquisa. O objetivo deste trabalho é descrever como se deu o processo de desenvolvimento específico do Ciclo do Combustível Nuclear no IPEN, cujo programa recebeu o nome de Projeto Conversão – PROCON, cujo resultado final deveu-se ao desenvolvimento tecnológico resultante das tecnologias arrastantes e arrastadas [1].

O Projeto Conversão originado por decreto da Presidência da República, em 1979, definia logo de início uma parceria entre o Governo Federal e o Estadual. Tinha como principais missões, a pesquisa, o desenvolvimento e o domínio das tecnologias que conduzissem à produção do hexafluoreto de urânio, numa capacidade significativa e de modo contínuo. Além disso, explicitava que o PROCON tinha também como missão, criar uma forte interação entre o IPEN e as empresas nacionais de modo a tornar o Ciclo do Combustível Nuclear independente de qualquer tipo de importação, tanto em conhecimento tecnológico, como em processos e materiais de construção. É nesse contexto que se relata neste trabalho e se salienta a importância das tecnologias de arraste e os caminhos traçados para se atingir o alvo desejado, no caso, a produção contínua de hexafluoreto de urânio. O surgimento de tecnologias que são arrastadas para se atingir o alvo final é de extrema importância e devem ser previstas ao longo do desenvolvimento da tecnologia segundo estratégias bem traçadas, prevendo as dificuldades que possam surgir, segundo futuros do tipo determinista ou probabilístico, a medida que se caminha em direção à meta final [2]. Em literatura especializada e mais recente, o problema é abordado com mais detalhe [3].

II. A GERAÇÃO DE FLÚOR EM ESCALA INDUSTRIAL

O principal alvo do Projeto Conversão, definido no início, consistia em se dominar a produção contínua do hexafluoreto de urânio e para isto fazia-se necessário o domínio das tecnologias, desde a dissolução de concentrados de urânio até a produção do tetrafluoreto de urânio, que é a matéria prima para a produção do hexafluoreto. Porém, inicialmente, não se incluía o estudo e atividades de P&D em tecnologia, no tocante a produção de flúor. Contava-se que esta tecnologia poderia ser adquirida de empresas especializadas, no exterior.

Com o passar do primeiro ano de atividade em P&D, constatou-se, muito rapidamente, que a tecnologia de geração de flúor em reatores eletroquímicos de sais fundidos, simplesmente não estava a disposição no mercado internacional, ou seja, quem a tinha, não a vendia, ou rara exceção, a vendia sob condições de restrições tecnológicas tão apertadas e sempre associadas em uma escala de produção tão pequena, que era incompatível com o objetivo final do projeto.

Surge assim, a primeira mudança significativa de objetivos do Projeto Conversão, que vai determinar no desenvolvimento de uma tecnologia de arraste: o desenvolvimento da tecnologia de produção de flúor à escala industrial.

O processo de geração de flúor em reatores eletroquímicos de 6.000 Ampères de capacidade passa então a ser uma das prioridades dos procedimentos decorrentes do conhecimento tecnológico da época e criava novas frentes de pesquisa, que a seguir são citadas:

- Preparo e manuseio de eletrólito, bifluoreto de potássio KF.2HF;
- Processo de estocagem de fluoreto de hidrogênio;
- Sistemas de absorção de fluoreto de hidrogênio;
- Processos de purificação do flúor;
- Processo de absorção do flúor em enxofre.

Na seqüência do desenvolvimento tecnológico e como tecnologia arrastada da produção de flúor, surgia a produção do hexafluoreto de enxofre de grande importância para o Brasil, já que o importava, para uso como isolante elétrico.

II.1 Geração de flúor e desenvolvimento de equipamentos

À medida que o Projeto Conversão dominava as etapas que integravam o Ciclo do Combustível Nuclear no IPEN, o “leque” das tecnologias arrastadas se abria, aumentando a interação com empresas pertencentes ao parque industrial brasileiro, principalmente o de São Paulo. Examinemos, a seguir, algumas dessas tecnologias.

Desenvolvimento de Trompa de Vácuo Industrial

Como a unidade de produção de flúor foi projetada para operar com fluxo de gases sujeito a leve depressão do processo, evitando-se assim o uso da tecnologia de compressão do flúor, por ser de maior risco, necessitava-se de um sistema capaz de originar vácuo de pequena intensidade no processo.

A planta de geração de flúor exigia também, a instalação de um sistema de absorção dos gases fluorados, do processo. Essa necessidade vai determinar o desenvolvimento, projeto e construção de uma trompa de vácuo de capacidade industrial, protótipo construído em polietileno de alta densidade, trabalho este de pesquisa tecnológica realizado em parceria com empresa nacional de roto-moldagem de materiais poliméricos.

Filtro eletrostático tubular para purificação do flúor.

À saída dos reatores eletroquímicos de produção de flúor, ele está acompanhado de partículas sólidas de eletrólito e fluoreto de hidrogênio sob a forma de gotículas líquidas condensadas, formando assim uma névoa indesejável que acompanham o flúor gasoso como impurezas do processo. Tendo em vista a solução do problema, desenvolveu-se o projeto e a construção, com empresa especializada, de uma unidade de filtração para essa corrente gasosa, com a respectiva unidade de retificação de corrente elétrica e automação do processo.

Processo de purificação do flúor por condensação do fluoreto de hidrogênio

Como parte do fluoreto de hidrogênio que acompanha o flúor, no fluxo gasoso à saída do reator eletroquímico não é retida pela unidade de filtração eletrostática, desenvolveu-se o projeto de um condensador, de geometria apropriada, para a retenção sob a forma líquida do fluoreto de hidrogênio. Esse condensador, operando por criogenia, arrefecido com nitrogênio líquido, agregou-se ao conjunto das tecnologias arrastadas, sendo construído por empresa de caldeiraria do parque industrial de São Paulo.

Absorção de flúor em enxofre e produção do hexafluoreto de enxofre

A partir da análise dos diversos sistemas de absorção do flúor, desenvolveu-se estudo no sentido de retê-lo em colunas de absorção de enxofre, mediante o qual se poderia produzir hexafluoreto de enxofre, composto que o Brasil importava e importa até o presente momento.

II.2 Geração de flúor e novos materiais

Novos materiais metálicos e poliméricos e compostos químicos, foram sendo necessários, a medida em que o projeto prosseguia, principalmente para os equipamentos que tinham contato com o flúor gasoso à mais diversas temperaturas de processo.

Fabricação do eletrólito: bifluoreto de potássio à escala industrial

Um dos primeiros desafios com que se deparou foi a obtenção do sal constituinte do eletrólito usado nas células eletrolíticas de geração de flúor, e que devia obedecer à especificações rígidas quanto aos teores de água e sulfato. Ao falarmos da dificuldade da obtenção de algumas matérias primas dos processos, como neste caso, estamos nos referindo tanto à inexistência desses compostos em quantidades industriais ao nível de toneladas, que eram as necessidades do PROCON, como em localizar e convencer as empresas químicas a produzirem compostos que não pertenciam às suas linhas de produção normal e ainda a iniciarem processos químicos que envolviam riscos operacionais elevados, já que exigia, como neste caso o manuseio do fluoreto de hidrogênio no estado líquido.

Fluoreto de hidrogênio como matéria prima da geração de flúor

O fluoreto de hidrogênio, também denominado de ácido fluorídrico anidro (HFA), matéria prima da geração de flúor, passou a ser, na época, uma das primeiras preocupações do Projeto Conversão. A rígida especificação do fluoreto de hidrogênio exigia para uso na eletrólise de sais fundidos, baixos teores de água, de sulfato e de ácido sulfúrico e de ácido fluorsilícico.

Cuba de condutividade elétrica

Como a especificação técnica do fluoreto de hidrogênio a ser utilizado na eletrólise de sais fundidos, para a geração do flúor, exigia teor muito baixo da água, desenvolveu-se o projeto e construiu-se uma cuba de condutividade para determinação dos teores de água nesse composto. Fez-se também necessário a construção de cilindros de amostragem do ácido fluorídrico anidro, assim como os procedimentos para essa operação de amostragem.

Desenvolvimento de materiais especiais

O domínio da tecnologia da produção de flúor deu-se a partir do desenvolvimento seqüencial da escala de bancada à escala industrial. Iniciou-se com um pequeno reator eletroquímico com capacidade de 100 Ampères, passando-se para uma escala de 500 Ampères, numa escala piloto, a partir da qual se iniciaram as atividades de levantamento de dados para o projeto dos reatores industriais de produção de flúor, com capacidade de 6.000 Ampères.

Teflon[®] Especial

Fez-se também necessário o desenvolvimento de um material polimérico especial, Teflon impregnado com fluoreto de cálcio, submetido a tratamentos térmicos adequados, para aumentar a resistência frente a solicitações mecânicas e químicas, quando utilizado como elemento de vedação em componentes dos reatores eletroquímicos de geração de flúor.

Âodos para a geração de flúor

Os primeiros lotes de ânodos testados nas unidades de geração de flúor eram de grafite, os quais reagiam com o meio eletrolítico e apresentavam tempo de vida muito curto, alguns dias. Desse modo tornava-se impraticável seu uso nos reatores de produção de flúor. Em parceria com empresas nacionais, o Projeto Conversão integrou-se numa frente de pesquisa tecnológica que tinha como principal objetivo desenvolver ânodos de carbono amorfo, de composição adequada às unidades de geração de flúor. Esses ânodos foram desenvolvidos e fabricados em escala industrial, sendo testados nas células eletroquímicas de geração de flúor do IPEN, à escala industrial.

Materiais metálicos

Quanto aos materiais metálicos, o Brasil na época, encontrava-se na dependência da importação de ligas especiais, tais como Monel[®] e Inconel[®], necessárias para a construção de equipamentos. Estabeleceu-se, com empresas fabricantes de ligas metálicas, um plano para a obtenção de chapas, tarugos e tubos, em território nacional, das mencionadas ligas Ni-Cu.

Soldagem por explosão

Na etapa de fabricação mecânica dos reatores eletroquímicos de geração de flúor, desenvolveu-se em parceria com institutos de pesquisa tecnológica, a construção das tampas desses reatores, envolvendo o processo de soldagem por explosão, unindo chapas de aço carbono com chapas finas de Monel[®].

III. PROJETO DE P&D DO HEXAFLUORETO DE URÂNIO E AS TECNOLOGIAS DE ARRASTE

O desenvolvimento da tecnologia de produção do hexafluoreto de urânio originou também novas frentes de pesquisa nas áreas de fabricação mecânica, eletrônica, instrumentação e processos metalúrgicos, como as que se seguem:

Processos metalúrgicos

Os principais desenvolvimentos de pesquisa tecnológica, nestes casos, estavam atrelados aos processos de purificação do hexafluoreto de urânio, tais como a filtração desse composto, que recorria ao uso de elementos filtrantes. Estes deveriam ser metálicos e resistentes a atmosferas altamente corrosivas, já que deviam operar em temperaturas que oscilavam de 180 a 250⁰C, em presença de flúor gasoso.

Obtenção de pós metálicos de ligas especiais

Os elementos filtrantes construídos foram obtidos a partir de processos de sinterização de pós de Monel[®] e Níquel. O Projeto Conversão desenvolveu, com as empresas especializadas na fabricação de pós metálicos de Níquel e Monel[®] anteriormente citados e construiu elementos filtrantes protótipos para serem utilizados no processo de purificação do hexafluoreto de urânio por filtração.

Válvulas especiais de processo

Abriram-se frentes de pesquisa e desenvolvimento tecnológicas para a fabricação em escala industrial, por empresas nacionais especializadas, de válvulas com as quais se pudesse manipular o hexafluoreto de urânio no processo sob a forma de líquido e/ou gás.

Trocadores de calor especiais

Recorrendo a todo o conhecimento tecnológico existente, junto às empresas fabricantes de trocadores de calor, elaboraram-se os projetos, conceitual, básico e detalhado dos denominados dessublimadores ou cristalizadores do hexafluoreto de urânio, passando-se à fase de construção desses equipamentos, manuseando-se o UF₆ sob a forma líquida, gasosa e sólida.

IV. CONCLUSÃO

Afigura-se não ser pertinente neste trabalho descrever detalhadamente todo o desenvolvimento tecnológico que finalizou por integrar os conhecimentos de P&D em Tecnologia e inerentes ao Projeto Conversão do IPEN, mas sim salientar que as **tecnologias arrastantes** e as arrastadas vieram a adquirir um papel de suma importância no domínio do Ciclo do Combustível Nuclear. Essas frentes de pesquisa, muitas vezes não previstas inicialmente, mas que ao longo de qualquer

desenvolvimento tecnológico devem ser consideradas, e estrategicamente planejadas com certa antecedência, porque o alvo final pode não ser atingido. Acabam por serem fatores multiplicadores de conhecimento tecnológico, e de novos desafios a serem vencidos.

O Projeto Conversão interagiu com cerca de 50 empresas, num intenso relacionamento de desenvolvimento tecnológico, empresas estas que foram se agrupando a volta do Projeto, como verdadeiras **“ilhas de conhecimento”** de P&D em Tecnologia, superando o que denominamos **“viscosidade tecnológica”** e obtendo produtos acabados nas áreas de controle e instrumentação, materiais, equipamentos especiais, metalurgia e compostos químicos. Em conjunto as tecnologias arrastadas contribuíram para que o alvo final fosse atingido, atingindo-se o domínio do Ciclo do Combustível Nuclear na etapa da Conversão e chegando-se a produção do hexafluoreto de urânio de forma contínua e numa capacidade, que na época, supria as necessidades do Brasil.

REFERÊNCIAS

- [1] OLIVEIRA, W.S. **Arquivos Técnicos do Projeto Conversão**, 1981 - 1994
- [2] AYRES, R. U. **Technological forecasting and long-range planning**, McGraw Hill, N.Y., 1969.
- [3] MARTINO, J. P. **Technological forecasting for decision making**, McGraw Hill, N.Y., 1993.

ABSTRACT

The scope of this work is to show the importance of “push technologies” in the development of the Nuclear Fuel Cycle more specifically the so called “Projeto Conversão” PROCON. This R&D activities lead to the design of special equipment, new metallic and polymer materials.