

# Aspectos operacionais do funcionamento do Tokamak IST-TOK <sup>(1)</sup>

C. A. F. VARANDAS, J. T. MENDONÇA, J. A. C. CABRAL, B. B. CARVALHO, H. FERNANDES,  
C. J. FREITAS, A. MATEUS, S. MAGALHÃES, V. PREGO e A. SOARES

Associação EURATOM/IST, Centro de Fusão Nuclear  
Instituto Superior Técnico, 1096 Lisboa Codex, Portugal

## 1. Introdução

O IST-TOK é um pequeno «tokamak» [1] (Fig. 1) projectado a partir da estrutura do antigo «tokamak» TORTUR [2]: câmara de vácuo, carapaça de cobre («copper shell»), transformador, bobines do campo magnético toroidal, bancos de condensadores e sistema de limpeza da câmara. As restantes componentes do «tokamak» (sistema de vácuo, fonte de alimentação para o campo magnético toroidal, sistemas de injeção e de «puffing» do gás, fonte de rádio-frequência para a pré-ioni-

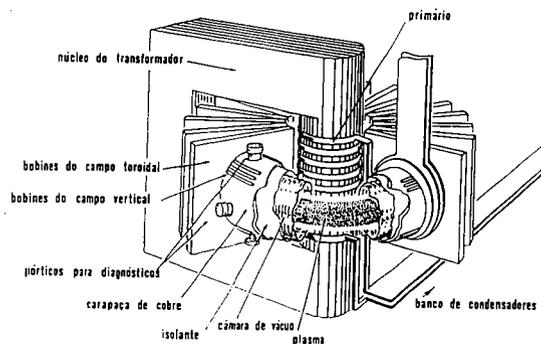


Fig. 1 — Desenho esquemático do IST-TOK.

zação do gás e sistema de controle e aquisição de dados) e os seus diagnósticos (Fig. 2) — sondas magnéticas (Bobine de Rogowski, «loop», bobines seno-coseno, bobine diamagnética e bobines magnetohidrodinâmicas), interferómetro de micro-ondas [3], reflectómetro de frequência fixa [3], sistema de difusão Thomson [4], diagnósticos de raios-X e analisador da deflexão de um feixe iónico [5] — estão a ser projectados e construídos por investiga-

dores, engenheiros e técnicos do Centro de Fusão Nuclear.

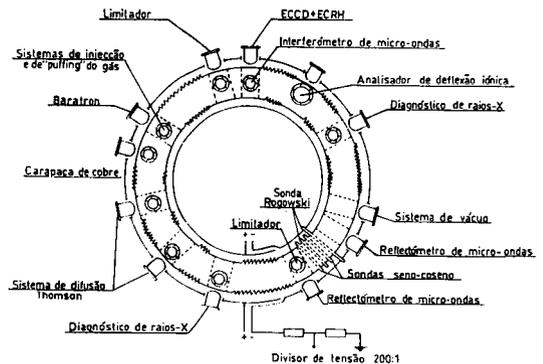


Fig. 2 — Implementação dos diagnósticos do IST-TOK.

## 2. Descrição das componentes principais do IST-TOK

A Fig. 3 apresenta um desenho esquemático das ligações entre as várias componentes do IST-TOK.

A câmara de vácuo, feita em «inconel» com alternância de secções rígidas e finos «bellows» (ligadores elásticos; espessura de 0.15 mm), consiste em dois meios torus (raio maior de 46 cm e raio menor 8.5 cm) separados por um isolante eléctrico.

A câmara de vácuo está rodeada por uma carapaça de cobre com 2 cm de espessura, com a finalidade de suportar a câmara e de estabilizar a posição da coluna de plasma, suprimindo as flutuações com tempos caracte-

<sup>(1)</sup> Comunicação apresentada na «7.ª Conferência Nacional de Física — Física 90».

rísticos menores que o tempo pelicular da carapaça de cobre (2 ms). O invólucro de cobre («copper shell») pode ainda ser usado para aplicar sinais eléctricos ao plasma e para conter um circuito de arrefecimento a água da câmara

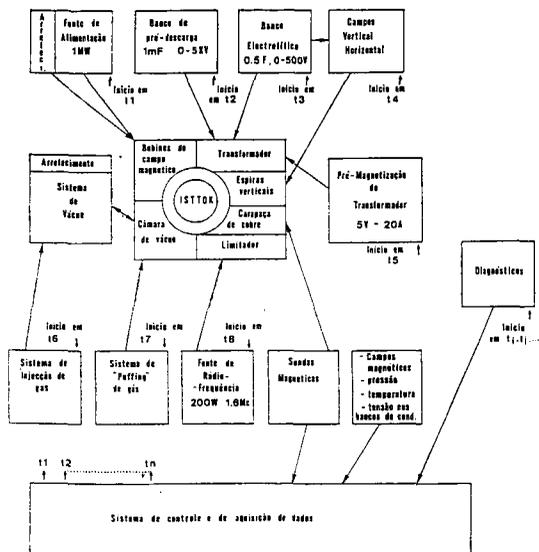


Fig. 3 — Desenho esquemático das ligações entre os vários componentes do IST-TOK.

de vácuo. O «copper shell» está dividido em oito partes por fendas isolantes, nas direcções poloidal e toroidal, de modo a evitar o estabelecimento de correntes originadas pela variação no tempo do campo magnético.

A Fig. 4 representa um desenho esquemático dos sistemas de vácuo e de injeção e de «puffing» do gás (\*). O sistema de vácuo principal é constituído por uma bomba rotativa e por uma bomba turbomolecular, de levitação magnética, com a velocidade de bombeamento de 500 l/s e que possibilita um vácuo final da ordem de  $10^{-8}$  torr. A medição da pressão e o controle do sistema de vácuo são feitos por um manómetro de ionização, que possui um microprocessador e um sistema operativo próprio, compatível com o MS-DOS. A calibração deste sistema é feita com um manómetro de capacidade. A análise dos gases residuais e a detecção de fugas é feita com um terceiro manómetro equipado com um espectrómetro de massa. O sistema de injeção de gás (normalmente hidrogénio, à pressão de trabalho de  $10^{-3}$  torr) é composto por uma válvula pneumática de «on-off» e por uma válvula electro-magnética de controle de fluxo. O «puffing» do gás é feito com uma válvula piezoeléctrica, com tempos mínimos de abertura da ordem do milisegundo.

O transformador possui um núcleo rectangular de ferro, pré-magnetizado com o auxílio

(\*) Permite a emissão isolada de gás, por «sopros» muito curtos.

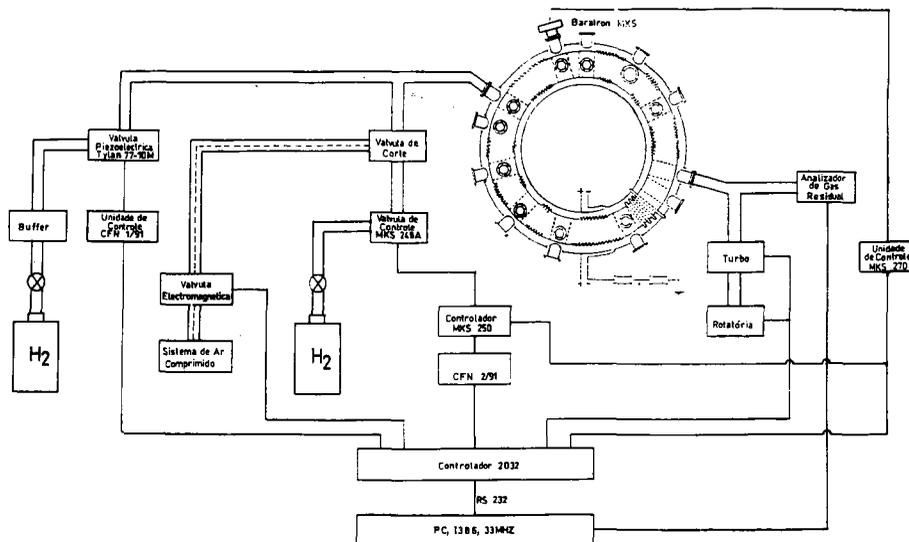


Fig. 4—Desenho esquemático dos sistemas de vácuo e de injeção e de «puffing» do gás.

de uma fonte de alimentação (10 V, 20 A) e de uma grande indutância em série. O primário é constituído por  $2 \times 20$  espiras enroladas no troço central do núcleo. O plasma criado na câmara de vácuo constitui o secundário do transformador.

O campo magnético toroidal é criado por 24 bobinas ( $R=10 \text{ m}\Omega$ ,  $L=1.88 \text{ mH}$ ) arrefecidas a água. Nas condições limites de operação,  $I_t \approx 40 \text{ KA}$ , obtemos um campo da ordem de 3 T. O campo toroidal do IST-TOK é criado pela corrente contínua fornecida por uma fonte, alimentada por uma linha trifásica de 10 kV, 1 MW, constituída por sistemas de transformação dodecafásica e de rectificação por tirístores. Esta fonte fornece correntes com intensidades entre 0 e 8000 A.

ração foi escolhida de modo a evitar a interferência entre a fonte de alimentação e o oscilador e a permitir o uso da mesma fonte de alimentação com várias fontes de rádio-frequência, para variação quer da frequência do oscilador quer da sua potência de saída.

O IST-TOK possui dois bancos de condensadores: um banco de pré-descarga (1 mF, 5 kV) para a criação do plasma e um banco electrolítico (0.5 F, 500 V) para o controle da duração da descarga.

A Fig. 5 apresenta o circuito eléctrico equivalente do IST-TOK.

O sistema de limpeza da câmara, usado para remover as impurezas da parede interior, consiste na injeção de gás durante 2 minutos e no seu bombeamento em 30 segundos, na

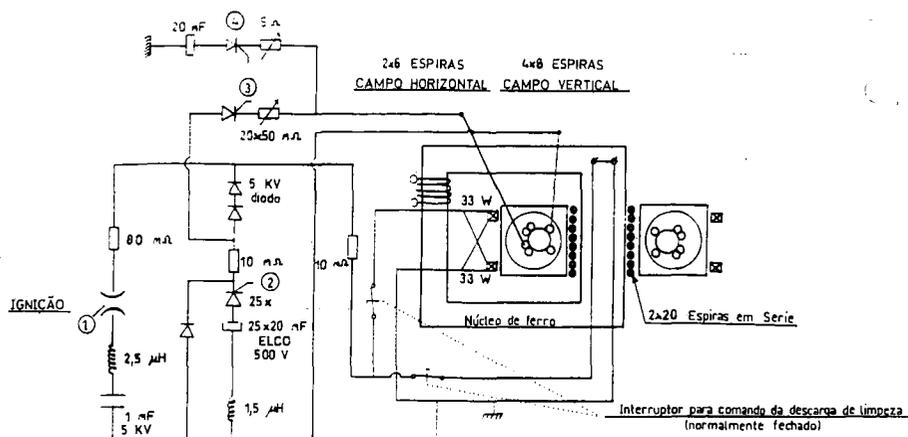


Fig. 5 — Circuito eléctrico equivalente do IST-TOK.

O campo magnético poloidal externo é criado por  $2 \times 6$  espiras (campo horizontal) e por  $4 \times 8$  espiras (campo vertical) localizadas no exterior das bobinas toroidais. Estas espiras estão ligadas a uma secção do banco de condensadores electrolíticos, com um conjunto de resistências em série para controle das intensidades das correntes.

O gerador de rádio-frequência ( $f=1.7 \text{ MHz}$ , 200 W), usado na pré-ionização do gás, é composto por duas unidades de estado sólido, fisicamente separadas: a fonte de alimentação e a fonte de rádio-frequência. Esta configuração

criação de um plasma ténue ( $B_t \approx 0.0375 \text{ T}$ ,  $I_p = 100 \text{ A}$ ) e no aquecimento óhmico dos «bellows» e das secções rígidas da câmara. O campo magnético necessário ao funcionamento do sistema de limpeza da câmara é criado por uma fonte de alimentação auxiliar de 500 A, 5 V.

### 3. Operação do IST-TOK

De acordo com o programa científico do «Projecto IST-TOK» [6, 7], este «tokamak»

será operado numa primeira fase em regime indutivo e, numa segunda fase, em regime não indutivo, com geração de correntes por ondas electro-ciclónicas.

Em ambos os casos na operação do IST-TOK, controlada automaticamente pelo sistema de controle e de aquisição de dados [8], podemos considerar os seguintes estados:

(i) — Estado de repouso, em que todos os componentes da montagem estão desligados, com excepção dos sistemas de vácuo.

(ii) — Estado de limpeza da câmara, que ocorre durante dois a cinco dias depois de cada abertura da câmara, e uma a duas horas antes de cada sessão de descargas.

(iii) — Estado entre-descargas, onde é verificada a existência do vácuo necessário à descarga ( $p < 10^{-7}$  torr) e em que são inicializados os vários componentes do «tokamak».

(iv) — Estado de pré-descarga, onde os vários componentes são configurados e onde se procede à leitura dos valores eventuais de «off-set» dos conversores analógico-digitais.

(v) — Estado pronto-a-funcionar, em que é verificada a operacionalidade de todos os componentes, confirmadas as condições de segurança (nomeadamente, a não presença de pessoas na área restrita da experiência) e emitidos os sinais sonoros e luminosos indicativos do início de uma descarga.

(vi) — Estado de descarga, onde é realizada a descarga através de um sinal único de «trigger», que dá início à sequência automática de temporização dos vários componentes do «tokamak». Esta operação apenas pode ser efectuada com a confirmação activa de um operador humano, de modo a aumentar o factor de segurança.

(vii) — Estado de pós-descarga, em que é recolhida e compilada toda a informação digitalizada durante a descarga e confirmado o seu aproveitamento através da visualização na consola dos parâmetros mais relevantes da descarga. Esta informação e os dados em bruto são armazenados em dois ficheiros criados em disco, classificados pelo número de ordem, data e hora da descarga.

(viii) — Estado de interrupção, onde, se algo de anormal acontecer durante os estados de pré-descarga, pronto-a-funcionar e de descargas, o sistema de temporização é suspenso e toda a actividade é reconduzida ao estado entre-descargas após a normalização das circunstâncias que produziram a interrupção anormal da descarga.

#### REFERÊNCIAS

- [1] J. WESSON (1987) — «Tokamaks», Clarendon Press, Oxford.
- [2] B. DE GROOT (1988) — «Technical notes of TORTUR», Relatório interno do FOM-Rijnhuizen, Nieuwegein, Holanda.
- [3] A. SILVA, *et al.* (1990) — «Diagnósticos de micro-ondas para o tokamak IST-TOK», Comunicação apresentada à Física-90.
- [4] R. A. VIGÁRIO, *et al.* (1990) — «Thomson scattering no tokamak IST-TOK», Comunicação apresentada à Física-90.
- [5] J. A. MENDANHA DIAS, *et al.* (1990) — «Colisões feixe-plasma/Diagnóstico IST-TOK», Comunicação apresentada à Física-90.
- [6] J. A. C. CABRAL, *et al.* (1989) — «The IST-TOK Project», Relatório Interno do CFN.
- [7] C. A. F. VARANDAS, *et al.* (1990) — «A instalação em Portugal da primeira experiência de fusão nuclear: o tokamak IST-TOK», Comunicação apresentada à Física-90.
- [8] H. FERNANDES, *et al.* (1990) — «Controle de operação e aquisição de dados do tokamak IST-TOK», Comunicação apresentada à Física-90.