



UNIVERSIDADE DE MINAS GERAIS

## ESCOLA DE ENGENHARIA

INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS

Nº 303/11-59  
mjlv.

Belo Horizonte, 4 de novembro de 1959.

Senhor Diretor:

Tenho a satisfação de passar às mãos de V. Excia. o relatório a respeito das atividades técnicas que exerci nos Estados Unidos, durante o período compreendido entre 1º de abril e 26 de julho de 1959.

No dia 1º de abril, juntamente com os colegas Mauricio Mendes Campos e Carlos Rodrigues Pereira, iniciei a viagem, de avião, a La Jolla, California, onde cheguei dia 3. A maior parte do tempo morei no Park Vista Hotel, em apartamento por nós alugado. Como não havia transporte público até o reator, compramos um automóvel que seria solução mais econômica que alugar um carro; sua compra ficou em cerca de 1.000 dólares e foi efetuada por decisão e responsabilidade do colega Carlos Pereira, que com a venda do mesmo deverá recuperar o dinheiro gasto; o carro ainda foi utilizado na viagem até Oak Ridge, no Tennessee, onde também prestou ótimos serviços na nossa condução até o laboratório.

Iniciamos, em La Jolla, um treinamento no TRIGA. Para isto, foi-nos cedida farta e cuidadosamente preparada literatura sobre o mesmo, e dispúnhamos também de acesso a uma magnífica biblioteca. Houve uma série de exposições orais sobre o reator, ministradas por engenheiros e cientistas da General Atomic; conosco havia mais três pessoas interessadas no treinamento, vindas de Omaha, Nebraska, um físico e dois médicos ocupados em assuntos nucleares.

Desde os primeiros dias iniciei um estudo com vistas a um exame que deveria prestar perante a Atomic Energy Commission para a obtenção da licença de operador do reator, necessária, nos Estados Unidos, a esta classe de serviço. Esta fase foi bastante penosa para mim que, lutando por se adaptar com a



UNIVERSIDADE DE MINAS GERAIS  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS

2.

lingua e a alimentação dos americanos do norte e desconhecendo as bases fundamentais para o estudo das matérias exigidas no exame, tive que me desdobrar para em pouco tempo acumular todo aquele conhecimento novo que era exigido. Saliento o fato de não ser versado em engenharia nuclear, o que realmente me colocou em situação de maior dificuldade comparativamente aos outros colegas. Finalmente nós nos submetemos aos exames, que constaram de uma prova escrita, uma prova oral e uma prática.

Na primeira fui bastante feliz e nas outras fiz exames regulares. Tempos mais tarde após a correção das provas escritas, o examinador, de Washington onde é sua sede, comunicou ao Sr. Jorge Schnürer, da General Atomic, por telefone, a aprovação dos três brasileiros.

Pude entrar em contato com os detalhes da parte eletrônica do reator, que era de fato o assunto ligado mais de perto à minha especialidade. A Secção de Eletrônica está confiada à direção do Dr. Haroldo V. Thomas e trabalhei sob orientação do engenheiro Jack Cawley. Encontrei um grupo jovem e bem treinado e creio ter tido magnífico aproveitamento durante a permanência nesta secção. Dentre outros, devo mencionar aqui Mr. Harold Schick, pelo interêsse demonstrado em me atender em meus problemas, mas minha simpatia e gratidão se estende a todo o grupo da Eletrônica.

Primeiramente procurei me familiarizar com a técnica dos transistores, usados em cêrca de 60% do aparelhamento de contrôle do reator. Pude então estudar os detalhes de vários circuitos transistorizados, de uso no TRIGA.

Êste reator, no meu entender, possui um contrôle eletrônico muito bem elaborado, no qual os diversos componentes de um modo geral trabalham em condições muito aquém das máximas estabelecidas, garantindo um desempenho satisfatório e exigindo um mínimo de manutenção. O contrôle em seu conjunto, sendo análogo aos utilizados em reatores maiores, ocupa, entretanto, uma pequena fração do volume necessário ao equipamento de contrôle de



UNIVERSIDADE DE MINAS GERAIS

## ESCOLA DE ENGENHARIA

INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS

3.

outros reatores, dado o uso dos transistores. De passagem, é interessante notar que os menores requisitos de potência para os circuitos transistorizados, trazem considerável economia no projeto das fontes de alimentação e na operação do conjunto.

Fiquei cêrca de duas semanas com essa ocupação e findo êsse tempo aproveitei a oportunidade para estudar algo relacionado com meu campo de atividade e de interêsse do I.P.R. Passei assim cêrca de uma semana com o grupo encarregado da manutenção e operação de um analisador eletrônico de pulsos, com 256 canais. O uso dêste aparelho poupa uma quantidade ponderável de trabalho humano e permite a obtenção de resultados mais acurados, em tempo muito curto. Iniciei esta parte procurando adquirir uma noção de conjunto do aparelhamento e depois pude ver alguns detalhes do mesmo. Como nesse tempo houve um desarranjo no analisador, tive o ensêjo de participar dos trabalhos do grupo que o reparou, após uma série de medidas preliminares, muita hipótese e experimentação como exige naturalmente um conjunto tão complexo. Finalmente, uma simples falha de uma válvula osciladora, era a responsável por tudo: com a amplitude das oscilações reduzidas, perdiam-se muitos ciclos do sinal então insuficiente para excitar corretamente um contador de tempo ...

Ainda na General Atomic pude conhecer o acelerador linear, sem entretanto entrar nos detalhes do mesmo; aproveitei dessa forma o tempo ainda disponível em La Jolla.

Juntamente com o colega Mauricio Mendes Campos estudei em um modelo em tamanho natural, a parte mecânica e elétrica, do contrôle das barras do reator TRIGA e aqui também tive a colaboração valiosa de um membro do grupo da Eletrônica, da General Atomic, o Eng<sup>o</sup> George Swan.

Nessa época já havíamos, através de iniciativa do colega Carlos Rodrigues Pereira, solicitado uma visita aos reatores de Oak Ridge e recebendo de Washington, da AEC a autorização, deliberamos empreender a viagem até o estado do Tennessee, que foi feita de carro e como no dia 18 de maio deveríamos estar em Oak Ridge, a viagem deveria ser feita em 6 dias, pois partimos de La



UNIVERSIDADE DE MINAS GERAIS  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**

INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS

4.

Jolla no dia 12. Atravessamos os estados de Arizona, Novo México, Texas, Arkansas, chegando no Tennessee. O percurso foi longo e, com primido no tempo, não nos proporcionou oportunidade de conhecer muitos pontos de interêsse; mesmo assim pudemos apreciar o belo espetáculo proporcionado pelo Grand Canyon, do Colorado, onde a história milenar da terra está tôda descrita nas várias formações geológicas; vimos uma floresta petrificada, atestado eloquente de uma vegetação exuberante há muitos milhares de séculos extinta. Também sentimos o clima e o ambiente do deserto, quando nos aproximamos da grande reprêsa de Norris Dam, monumental obra de engenharia hidroelétrica, que nos impressionou vivamente. Foi uma viagem cansativa que entretanto nos permitiu, se bem que ligeiramente, nos ilustrar sôbre os vários tipos individuais, hábitos de vida, costumes e tradições do povo da região sul dos Estados Unidos; de qualquer forma são informações adquiridas que se somam ao conhecimento geral que deve existir ao lado do conhecimento necessário em qualquer especialização.

Em Oak Ridge nos hospedamos inicialmente no Alexander Hotel, ponto obrigatório de estadia de todo estrangeiro recém chegado e onde se vêem os tipos individuais de vários pontos do globo, interessados em energia nuclear, que aportam a esta cidade "sui generis", de cientistas e técnicos.

O ambiente intelectual de Oak Ridge é magnífico e observa-se imediatamente, ao primeiro contato com o povo, sua cultura média em gráu bastante elevado e a dificuldade de entendê-lo com o sotaque bem diferente daquele dos americanos da California.

Na primeira semana após a chegada alugamos uma casa relativamente próxima ao centro da cidade, na rua Wade Lane e onde fixamos nossa residencia durante os dois meses que permanecemos nessa cidade.

O Oak Ridge National Laboratory se situa a cêrca de meia hora de automóvel de "down town" e me impressionou inicialmente pela grandiosidade das várias instalações; é realmente um grande centro de pesquisas e um dos maiores fornecedores de radioisótopos do mundo.



UNIVERSIDADE DE MINAS GERAIS

## ESCOLA DE ENGENHARIA

INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS

5.

Foi-nos proporcionada uma visita a vários reatores e um guia nos mostrou as características mais importantes de cada um deles.

Cada um de nós então iniciou seu estágio no campo de seu interesse. Estivemos, inicialmente, com o engenheiro F.P. Green, encarregado do computador analógico, o ORACLE; é uma máquina bastante grande e que presta um trabalho constante às várias seções do laboratório. Procurei estudar a parte técnica da mesma e um pouco da sua operação. Enquanto isso, estudava também os circuitos de controle dos diversos reatores de Oak Ridge, na literatura que o Eng<sup>o</sup> John Gundlack gentilmente me cedeu; este senhor foi um dos projetistas dessa aparelhagem e me prestou muitos esclarecimentos com relação aos circuitos utilizados; também por seus préstimos, pude depois efetuar um treinamento no controle de reatores, realizado em um simulador, visto que os reatores reais operam continuamente. O simulador, se bem que orce em cerca de 10% do custo do reator, é um ótimo auxiliar no ensino. No caso do TRIGA adquirido pelo I.P.R., enquanto não estiver em funcionamento contínuo, o treinamento na sua operação poderá ser feito no reator real; além dos dispositivos normais de proteção ressalte-se aqui seu combustível com um coeficiente negativo de temperatura; para o futuro, um simulador talvez fôsse útil.

Em cerca de 3 semanas me desincumbi desta parte do estágio e passei para o grupo de projeto e desenvolvimento da instrumentação; este grupo atualmente está muito interessado na transistorização de grande parte do aparelhamento e no desenvolvimento de novos aparelhos. Voltei então a me dedicar ao assunto dos transistores e encontrei uma colaboração muito valiosa por parte dos vários engenheiros do grupo; saliento, entretanto, em destaque, neste particular, o Sr. James Lovvorn, engenheiro muito competente e com grande tirocínio na técnica eletrônica.

Seja-me permitido também mencionar o nome do chefe da divisão de controle e instrumentação, o Eng<sup>o</sup> Borkowsky pelo interesse constantemente demonstrado em saber de meu aproveitamento; também o Dr. Mann, chefe do grupo de eletrônica com que eu estava



UNIVERSIDADE DE MINAS GERAIS

## ESCOLA DE ENGENHARIA

INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS

6.

se mostrou muito acessível e prestimoso, inclusive várias vezes deixando prejudicar-se em suas horas de atividades para comentar assuntos não diretamente de interêsse no laboratório, como a transmissão radioelétrica com uma única banda lateral e com portadora suprimida, assunto que me despertou um interêsse na época, em virtude da literatura que casualmente encontrei sobre o mesmo na biblioteca do laboratório. Fiquei com êste grupo mais de um mês e esta foi a parte do estágio que mais me agradou.

O final de minha permanência em Oak Ridge foi aproveitado observando o trabalho que um outro grupo efetuava, também relativo à instrumentação. Pude ainda consultar uma vasta bibliografia disponível, inteirando-me de muito assunto novo na técnica. Fiz muitas anotações e apreciei muito certas publicações canadenses, de Chalk River, relativas ao uso dos transistores em instrumentação nuclear.

Após cerca de 4 meses nos Estados Unidos, iniciamos, eu e o colega Mauricio Mendes Campos, a viagem de volta, conhecendo, numa permanência de 3 dias, a cidade de Washington e num período de 4 dias, a de Nova Yorque.

Voltamos então ao Brasil, diretamente para Belo Horizonte onde chegamos a 28 de julho. O colega Carlos Pereira ainda permaneceu mais tempo nos Estados Unidos.

Minha impressão sobre o adiantamento técnico dos americanos foi magnífica. Há uma série enorme de recursos e ambiente favorável a êsse resultado o que explica, em parte, o fato. A organização e a capacidade de trabalho também são dignos de nota.

Longe de desanimar-me com as condições encontradas no Brasil, pude observar que, apesar de um clima um tanto desfavorável, muito já se promete fazer em nossa terra, onde em pontos isolados, como no nosso I.P.R., já se vai formando o ambiente propício ao cultivo da ciência em nível mais avançado. A industrialização rápida a que assistimos, o interêsse patente pela física e engenharia, trarão, é certo, uma substancial contribuição ao desenvolvimento científico do Brasil.



UNIVERSIDADE DE MINAS GERAIS  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS

7.

Em virtude da aquisição do TRIGA, por nosso Instituto, julgo interessante acrescentar, neste relatório, um esquema simplificado do sistema de instrumentação e controle utilizado no mesmo. Para não me alongar, deixo de considerar seus aspectos técnicos em detalhe. Tenho, entretanto, em meu poder, esquemas e descrições do mesmo. A General Atomic prometeu, tão logo as publique, enviar as documentações técnicas da aparelhagem utilizada.

O reator TRIGA possui um sistema de instrumentação simplificado; assim, registradores tipo Standard foram convertidos em micromicroamperímetros simplesmente efetuando uma conversão na sua impedância de entrada; dessa forma foram projetados os registradores linear e logarítmico, e são usados um circuito com diodos sólidos com compensação de temperatura, cobrindo mais de sete décadas e um novo circuito para medição do período do reator. O canal referente à taxa de contagem é inteiramente transistorizado, do mesmo modo que os indicadores das posições das barras. Um sistema de servo-mecanismo leva o reator a uma potência pré estabelecida e com um período também fixado. O sistema possui ainda 4 canais para neutrons e graças à instrumentação simplificada, é todo ele acomodado em uma mesa de controle de tamanho usual.

A instrumentação eletrônica do TRIGA pode ser um tanto simplificada, pelo fato de ser este reator inerentemente seguro, no que se refere ao próprio reator e ao pessoal que com ele lida.

O sistema de instrumentação está representado em blocos, na fig. 1, onde se vê que há 4 canais de neutrons, um monitor da atividade da água, um monitor da temperatura da água e um monitor da condutibilidade da água.

Um servo amplificador que utiliza informação tanto do nível de potência quanto do período, pode ser usado para levar a potência a um valor pré-determinado (dentro de 1%) ou para elevar a potência do reator, num certo período pré-fixado.

Há um dispositivo que só permite o levantamento das barras "shim" ou "regulating" quando a barra "safety" está levantada.



UNIVERSIDADE DE MINAS GERAIS  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS

8.

As posições das duas primeiras barras são indicadas, dentro de 0,2% por meio de um servo mecanismo transistorizado. Há lâmpadas que indicam as posições extremas das barras, as fontes de "scrams" e outras informações.

Canal de contagem da taxa de desintegração

É transistorizado e é utilizado quando a potência do reator é elevada desde a potência da fonte radioativa (10-15 contagens por segundo, correspondendo a cerca de 10 miliwatts de potência térmica). O detetor é uma câmara de fissão (dois eletrodos concêntricos cobertos com  $U^{235}$ ; este é fissionado pelos neutrons térmicos e na atmosfera de argônio e nitrogênio da câmara produzem-se pulsos de ionização, de cerca de 200 volts e tempo de crescimento de 0,25 segundo. Um cabo coaxial de 20 pés liga a câmara ao pré-amplificador, que exhibe baixa impedância de entrada que se adapta bem à impedância de saída da câmara (a impedância parece, à primeira vista, elevada) e muito baixo ruído. O próprio cabo que leva a alimentação (tensão de 3 volts) traz o sinal.

A amplificação é da ordem de 30 vezes e o sinal é então levado ao amplificador, com A-2000, constituído por 4 estágios de emissor comum. Este amplificador foi projetado de modo a preservar a forma do pulso, a proporcionar uma amplificação constante e tem uma compensação com relação às flutuações de temperatura.

Do amplificador os pulsos são encaminhados a um discriminador do tipo gatilho de Schmitt, no qual um potenciômetro permite selecionar os pulsos desejados, com relação a outros de menor amplitude, por exemplo, produzidos por raios gama.

Os pulsos são agora encaminhados ao circuito de característica logarítmica, proporcionada pela impedância de um diodo de silício; este circuito cobre 4 décadas até 10.000 contagens por segundo. A saída é então ligada a um voltímetro eletrônico em virtude de sua alta impedância de entrada.

Do discriminador a que já me referi, retira-se ainda um pulso que é então diferenciado e limitado superiormente; a largura do pulso obtido pode ser variada manualmente e também sua amplitude é ajustada simultaneamente e as medidas podem ser feitas



UNIVERSIDADE DE MINAS GERAIS

## ESCOLA DE ENGENHARIA

INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS

9.

num alcance de 6 escalas; para isso, usa-se um integrador. Ainda existe um circuito de audio ligado a um alto falante. A calibração é feita com as frequencias de 60 c/s, (da rede) e 10Kc/s (oscilador transistorizado do tipo Colpitts).

### Canal do logarítmo de N.

Há uma câmara compensada de ionização alimentando um circuito logarítmico e um micromicroamperímetro registrador. O circuito logarítmico utiliza vários diodos de silicio em um circuito divisor de tensão e um circuito compensador de temperatura. A impedância de entrada do medidor é modificada pelo uso de uma válvula eletrométrica usada como amplificador de c.a. obtida por um ..... "chopper"; ainda há um filtro passa baixas e a impedância do medidor se altera para cêrca de 500 megohms.

A medida do período do reator é feita do modo seguinte: do canal que leva a informação proporcional ao logarítmo da potência do reator, obtem-se, por um circuito diferenciador, um sinal proporcional à derivada do logarítmo da potência,

$$\phi = \phi_0 \frac{t}{eT}$$

$$\frac{\phi}{\phi_0} = \frac{t}{eT} \quad L \quad \frac{\phi}{\phi_0} = \frac{t}{T} \quad \frac{d}{dt} \quad L \quad \frac{\phi}{\phi_0} = \frac{1}{T}$$

que então é inversamente proporcional ao período e vai atuar sobre um medidor com relé que determina o valor suficiente para um "scram".

### Monitor do nível de potência

O monitor linear usa uma câmara compensada, de ionização e um micromicroamperímetro registrador. O canal cobre 8 décadas, desde o nível da fonte radioativa até a potência máxima, em 15 escalas.

O nível de scram é feito colocando-se um interruptor a 10% acima do fundo de escala do registrador; este sistema pode introduzir um atraso no sinal de scram, de até 1 segundo o que não seria aceitável nos reatores comuns, mas para o TRIGA êle é inteiramente satisfatório. Há um interruptor na parte inferior da escala, que causa scram e impede a operação em caso de falha nesse me



UNIVERSIDADE DE MINAS GERAIS  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS

10.

canismo.

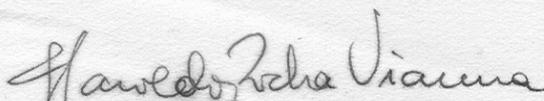
Uma câmara não compensada alimenta um outro canal que se liga a um medidor com relé e que dá uma indicação da porcentagem do nível de potência desde zero até 120% de plena potência. O atraso que existe em todos os relés dos medidores, usados para scram é pequeno comparado ao tempo de queda da barra, que é de 350 milissegundos.

Servomecanismo ligado ao nível de potência

O controle da barra reguladora por meio de servomecanismo é obtido assim: o sinal relativo à demanda, fixado pelo operador,  $E_{n_0}$  é comparado com o sinal do nível de neutrons  $E_n$ , obtido do registrador linear do nível de potência; a diferença entre os dois sinais é dividida por  $E_{n_0}$  por meio de um potenciômetro, o que converte o sinal de erro em um erro em porcentagem e compensa a característica não linear do reator. Há um limitador para prevenir a saturação do amplificador para o servo, devido a um sinal excessivo de erro. O sinal em corrente contínua do medidor de período é convertido em um sinal de 60 c/s e comparado com o sinal de erro em um chopper.

O sinal resultante passa em um filtro sintonizado a 60 c/s e se torna senoidal; é amplificado e levado ao motor bifásico que movimenta a barra de controle, para um lado ou outro, conforme as fases relativas das correntes nos enrolamentos.

O circuito de scram para os eletroímãs é transistorizado e usa um transistor de potência funcionando em Classe A. As fontes de alimentação usam retificadores secos e estabilização por diodos Zener.

  
Eng<sup>o</sup> Haroldo Rocha Vianna

Assistente Técnico Secção de Eletrônica

Ao Exmo. Snr. Prof. Francisco de Assis Magalhães Gomes  
DD. Diretor do Instituto de Pesquisas Radioativas  
CAPITAL