

TOFANI

BIBLIOTECA

PROJETO DE DISPOSITIVO EXPERIMENTAL PARA ESTUDOS
DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM ÁGUA EM REGIME DE
CONVECÇÃO FORÇADA COM MUDANÇA DE FASE

FIRMINO PINTO FIUZA NETO

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIA (M.Sc.)

Aprovada por :

Taufeek Tofani

Presidente

[Handwritten Signature]
[Handwritten Signature]
[Handwritten Signature]
[Handwritten Signature]

RIO DE JANEIRO

ESTADO DA GUANABARA - BRASIL

MAIO DE 1971

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi elaborado no Laboratório de Térmica da Divisão de Reatores do Instituto de Pesquisas Radioativas (UFMG/CNEN), como parte de seu programa experimental.

Agradeço ao Prof. Milton Campos, Diretor do Instituto de Pesquisas Radioativas, que permitiu a preparação desta tese dentro do programa do I.P.R. Agradeço, igualmente, aos Profs. Witold Piotr Stefan Lepecki e Carlos Márcio Mascarenhas Dale, que se sucederam na chefia da Divisão de Reatores, e não mediram esforços para o êxito dêste projeto.

Exprimo meus reconhecimentos ao Dr. Paulo de Carvalho Tófani, que me orientou na elaboração dêste trabalho.

Os engenheiros Carlos Werth Urban, João Luiz Campos, Fernando Lôbo Vaz de Mello, Ulisses Marcos de Rezende Lima e Antônio Mendes, da Divisão de Reatores do Instituto de Pesquisas Radioativas, auxiliaram-me, com conselhos e críticas, durante as várias fases dêste trabalho. Encontrem aqui os meus agradecimentos. Sou grato ao Sr. Haydn Amaral Fernandez e a Srta. Neide Barra Reis, que me auxiliaram na confecção dêste trabalho.

A todos êstes que me auxiliaram, paz e flôres.

SINOPSE

Nêste trabalho sãõ apresentados os principais aspectos do projeto de um dispositivo experimental para estudos de transferência de calor em escoamentos com mudança de fase.

Trata-se de um circuito fechado a água desmineralizada, pressurizada a 15 atm fluindo a uma vazãõ de 5 kg/s. Uma potência de 350 kw em corrente contínua pode ser dissipada com seções de testes constituídas por pequenos feixes de varetas.

A construção dêsse circuito no Laboratório de Térmica do Instituto de Pesquisas Radioativas da UFMG, faz parte do programa sôbre reatores a água da Comissão Nacional de Energia Nuclear.

SUMMARY

In this work one presents the main features of a water loop design for performing two phase and heat transfer experiments.

The project is based on a closed demineralized water loop pressurized at 15 atm with a mass flow rate up to 5 kg/s. The maximum power fed to test sections is of about 350 kw D.C.

The installation of the experimental apparatus in the Thermal Laboratory of the Instituto de Pesquisas Radioativas is part of the program carried out by the Comissão Nacional de Energia Nuclear on water cooled reactors.

INDICE

	Página
PARTE 1. INTRODUÇÃO	1
PARTE 2. PROPOSIÇÃO DO PROBLEMA	3
2.1. ESTUDOS PLANEJADOS	3
2.2. LABORATORIOS E CIRCUITOS	6
PARTE 3. CARACTERÍSTICAS DE OPERAÇÃO DO CIRCUITO TERMICO	7
3.1. DESCRIÇÃO GERAL	7
3.2. OPERAÇÃO DO CIRCUITO	8
3.3. SISTEMA DE DESMINERALIZAÇÃO DE ÁGUA	10
3.4. SISTEMA DE RESFRIAMENTO	12
3.5. SISTEMA ELETRICO	14
3.6. INSTRUMENTAÇÃO	14
3.6.1. Temperaturas	15
3.6.2. Vazões	16
3.6.3. Pressões	17
3.6.4. Potências	17
3.6.5. Resistividades elétricas	17
3.6.6. Teores de oxigênio	18
3.7. ARRANJO FÍSICO E IMPLANTAÇÃO	18
PARTE 4. ESPECIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	19
4.1. INTRODUÇÃO	19
4.2. SEÇÃO DE TESTES	19

	Página
4.2.1. Geometria das seções de testes	20
4.2.2. Potências máximas dissipadas nos casos de seções de testes extremas	21
4.3. CONJUNTO RETIFICADOR	22
4.3.1. Corrente elétrica máxima	22
4.3.2. Tensão máxima nos bornes do retificador	23
4.3.3. Potência máxima do retificador	24
4.4. BOMBA DE CIRCULAÇÃO	25
4.5. PRÉ-AQUECEDOR	25
4.6. PRESSURIZADOR	27
4.6.1. Funções do Pressurizador a duas fases	27
4.6.2. Dimensões do Pressurizador	28
4.7. PERMUTADORES DE CALOR	29
4.8. OUTROS COMPONENTES	31
4.9. TUBULAÇÕES E INSTALAÇÃO ELÉTRICA	32
4.10. INSTRUMENTAÇÃO	32
PARTE 5 - RESULTADOS E CONCLUSÕES	34
REFERÊNCIAS	34 bis
ANEXO I - ESPECIFICAÇÃO DOS INSTRUMENTOS	35
DESENHOS	

PARTE 1 - INTRODUÇÃO

Desde fins de 1965 vem sendo estudado pelo Instituto de Pesquisas Radioativas da UFMG, um reator de potência refrigerado a água pesada, como parte integrante do programa de reatores de potência da Comissão Nacional de Energia Nuclear. Este projeto foi estudado em duas fases ^{1,2}.

O término da primeira fase desse projeto, em fins de 1967, ditou como seqüência normal dos estudos, o prosseguimento da elaboração dos métodos de cálculo e o início da fase experimental. De imediato dois laboratórios foram planejados, um de Térmica e outro de Neutrônica.

A implantação do Laboratório de Térmica visa, particularmente, o estudo de transferência de calor em água ³. Desta maneira, basicamente, as experiências que aí serão realizadas, servirão ao melhor conhecimento do comportamento térmico dos elementos combustíveis dos reatores a água leve ou pesada, pressurizada ou fervente. Por outro lado, o estudo de componentes tais como, trocadores, geradores de vapor, pressurizadores, bombas, etc. será de interêsse permanente.

Entretanto, o estudo dos componentes de centrais com suas características de operação bastante avançadas, serão abordados por aproximações sucessivas. As pesquisas, em princípio de caráter fundamental, a serem realizadas inicialmente, visam com maior interêsse os problemas do núcleo dos reatores.

Para se atingir um tal objetivo, há necessidade de um grande número de dispositivos experimentais. Esses dispositivos são distribuídos no tempo de maneira a inicialmente, permitir a formação de uma equipe de trabalho de alto nível capaz de, em etapa posterior, projetar e utilizar seu equipamento no sentido de se obter resultados precisos, imediatamente aplicáveis ao cálculo de reatores. Não se pode negar, a médio prazo, a possibilidade de que esta equipe participe na solução de problemas industriais genéricos no tocante aos processos de transferência em engenharia.

O primeiro circuito desta seqüência, foi idealizado e projetado como se apresenta nos capítulos seguintes. Por essa razão, o projeto dos sistemas auxiliares básicos ao funcionamento do laboratório foi, simultaneamente, realizado.

PARTE 2 - PROPOSIÇÃO DO PROBLEMA

2.1. ESTUDOS PLANEJADOS

O Laboratório de Térmica do Instituto de Pesquisas Radioativas (UFMG/CNEN), tem como finalidade o estudo de problemas ligados ao comportamento termodinâmico dos reatores nucleares refrigerados a água. Nes- ses tipos de reatores, a água pode mudar de estado passando de líquido a vapor ao longo dos canais.

A mudança de fase, em regime permanente ou transitório, pode dar origem a alterações importantes nos processos de troca de quantidade de movimento e de calor na região da interface sólido-líquido entre o revestimento e o refrigerante. No primeiro caso, a existência da fase vapor introduz perdas de pressão superiores às encontradas em fase líquida podendo, em resultado, aumentar demasiadamente as perdas de carga totais e/ou introduzir redistribuições de vazão. Estas redistribuições, relacionadas com a forma de fluxo neutrônico, podem na pior hipótese dar início à deterioração do processo de transferência de calor. A alteração dêsse segundo processo pelo aumento brusco do coeficiente de transferência de calor é conhecido por crise de ebulição, condições críticas de transferência (D.N.B., B.O.) e resulta, para sistemas operando a fluxo de calor fixo, na elevação rápida de temperatura de superfície. Nesse caso, o material da superfície pode se fundir, ser facilmente corroído ou, no melhor caso, o sistema pode operar em regime post-crise com baixo coeficiente de troca. Esses problemas são traduzidos por coeficientes de segurança no cálculo dos núcleos dos reatores.

Para se chegar a solução de problemas específicos impostos pela necessidade de se aumentar a potência específica nos reatores avançados, muitas etapas devem ser transpostas. Em última análise, os testes de laboratório devem simular o mais próximo possível as condições mais drásticas de operação (em regime permanente e transitório), de elementos combustíveis em feixes de alguns metros de comprimento, com seções de passagem de refrigerante da ordem de uma centena de centímetros quadrados, contendo dezenas de varetas refrigeradas com água, eventualmente fervendo a 140 atm e escoando a velocidades de 10 m/s, com fluxos térmicos de algumas centenas de W/cm^2 e distribuições radiais e axiais não uniformes.

Para se atingir uma tal meta, mesmo como fruto de esforço conjunto internacional, os esforços devem ser dirigidos no sentido de se formar uma equipe que trabalhe em pesquisas de transferência de calor de alto nível desenvolvendo, simultaneamente, instrumentação e tecnologia de construção de circuitos adaptados a tecnologia nacional.

A programação dos estudos a serem realizados no Circuito Térmico Experimental nº 1, ora em questão, provém da análise de longa lista de documentos que tratam de fenômenos ligados com transferência de calor em sistemas bifásicos com aquecimento. Enumeram-se a seguir, medidas que serão efetuadas em seções circulares, anulares, retangulares e em feixes :

- medidas de coeficientes de fricção em fase líquida em condições isotérmicas e não isotérmicas.
- medidas de coeficientes de fricção em ebulição local e generalizada.
- determinação de regiões de ebulição nucleada, generalizada. Influência do teor de gás dissolvido e do desequilíbrio termodinâmico.
- medidas de coeficientes de transferência de calor em regimes de ebulição nucleada, generalizada e pós-crise.

- estrutura de escoamento com distribuições espaço-temporais de fases.
- detecção de fluxos críticos de calefação e desaparecimento de filme e suas relações com as configurações de escoamentos.
- influência das repartições de fluxo na crise de ebulição.
- perdas de carga em uma e duas fases.
- medidas de coeficientes de difusão entre sub-canais.
- influência de grades espaçadoras.
- medidas de distribuições de velocidades e temperaturas (difusividades turbulentas).

Informações básicas sobre a terminologia e estudos acima, podem ser encontradas nas referências 4 e 5.

A análise de resultados experimentais existentes, permitiu a determinação das gamas de variações das grandezas termodinâmicas de interesse, considerando-se duas seções de testes extremas, a primeira tubular mais simples possível e a última em forma de feixe de 7 varetas que já requer níveis de tecnicidade e instrumental bastante elevados.

Estas são :

- Refrigerante : água deionizada
- Pressão máxima : 15 atm
- Vazão de massa máxima : 5 kg/s
- Potência máxima da seção de testes : 350 kw
- Temperatura máxima : 200 °C
- Teor de oxigênio dissolvido: $\leq 0,5 \text{ cm}^3/\text{kg}$ de água
- Resistividade elétrica da água : $\geq 1 \text{ Mohm} \times \text{cm}$

- Potência do pré-aquecedor : 20 kw
- Potência do pressurizador : 2 kw
- Capacidade do trocador principal : 370 kw
- Corrente elétrica máxima no retificador : 7840 A
- Tensão máximo no retificador : 45 V
- Altura manométrica : 70 MCA

2.2. LABORATÓRIOS E CIRCUITOS .

O programa de trabalho do Laboratório de Térmica do I.P.R. assemelha-se ao de outros laboratórios existentes no exterior. Nos Estados Unidos, o número destes laboratórios é muito grande, incluindo laboratórios nas indústrias e Universidades, trabalhando sob forma de contrato com U.S.A.E.C. Na Europa encontram-se laboratórios nacionais voltados principalmente aos problemas de reatores a água, onde os estudos são mais centralizados, donde similares ao nosso caso. E o caso da França ⁶, Inglaterra ⁷, Itália ⁸ e Suécia ⁹.

Se bem que a menção à existência de circuitos do mesmo porte que o C.T. 1 seja grande através de trabalhos que nêles são realizados, os detalhes de cálculo e construção não são disponíveis. Por outro lado, mesmo se o fossem, o trabalho de adaptação aos meios de fabricação nacionais persistiria. Com estas idéias, a partir do estudo de diversos fluxogramas de circuitos existentes, partiu-se para uma solução de engenharia que fôsse ao mesmo tempo baseada em soluções existentes e de possível fabricação nacional.

PARTE 3 - CARACTERÍSTICAS DE OPERAÇÃO DO CIRCUITO TÉRMICO

3.1. DESCRIÇÃO GERAL

O circuito térmico em estudo, destina-se à realização de experiências de transferência de calor em água a uma pressão nominal máxima de 15 atm. Com uma vazão de massa de água até 5 kg/s, pode-se transportar um máximo de 350 kw dissipados por efeito Joule em seções de testes simulando elementos combustíveis nucleares. O domínio do teor de oxigênio dissolvido e grau de mineralização da água são igualmente, importantes.

O circuito térmico propriamente dito, é constituído por uma bomba de circulação com desvio, um pré-aquecedor, duas válvulas de controle de vazão, um medidor de vazão tipo turbina, dois medidores de diafragma em paralelo, uma seção de testes com desvio, um pressurizador desae_rador e um trocador de calor com desvio.

Dispõe-se, igualmente, de sistemas auxiliares de desionização de água do primário e de resfriamento por torre da água do secundário. Por outro lado, um sistema elétrico de abaixamento de tensão, retificação e controle de corrente, constitui o setor de alimentação elétrica da seção de testes.

Apresenta-se no desenho 01-001 o fluxograma geral de engenharia do circuito.

3.2. OPERAÇÃO DO CIRCUITO

A abertura do registro VI-7 permite o enchimento completo do circuito por gravidade, tendo-se para isso aberto os registros de drenagem de ar, localizados em diversos pontos das tubulações.

A desarejação da água é feita fazendo-a circular no circuito, passando pelo pressurizador (válvula VI-3 fechada e VIC-1 aberta). Ao mesmo tempo em que a água está em circulação, aquecem-se por efeito Joule todos os componentes que dissiparão calor em funcionamento normal (seção de teste E-102, pré-aquecedor E-101 e ebulidor do pressurizador), até a temperatura em torno de 100 °C. O gasímetro GAS, indica a quantidade de gases dissolvidos até que essa quantidade atinja o valor máximo admitido, correspondente a 0,5 cm³ de oxigênio por kg de água. O oxigênio e outros gases despreendidos, serão eliminados do circuito através da válvula VI-4. Terminada essa operação, fecha-se a válvula VIC-1 e abre-se a válvula VI-3.

Os fenômenos inerentes ao uso simultâneo de altas correntes elétricas e líquidos condutores (curtos circuitos, corrosão, eletrólise) devem ser evitados. Por esta razão o grau de desmineralização medido pela célula de resistividade MR-1, no tanque V-103, deve ser sempre superior a 1 MΩ . cm. Quando um tal nível não for obtido, uma derivação através da válvula VC-4 após a bomba, permite o tratamento da água do circuito principal pelo sistema de desmineralização.

Com essas operações terminadas, o circuito entra em operação normal.

Inicialmente, a bomba centrífuga B-101 é levada a seu ponto nominal. Esta bomba é provida de um desvio que ^{1 A C} permite trabalhar dentro de sua curva característica, mesmo quando as vazões requeridas no conjunto seção de testes e desvio de seção de testes, são pequenas.

O conjunto de regulagem de fluxo de água, constituído pelas válvulas motorizadas VM-3 e VM-2 para ajuste grosso e fino de vazão na seção de testes, respectivamente, e a válvula VC-2 no desvio, permitem a distribuição de fluido requerida na experiência. As vazões na seção de testes são obtidas por um medidor de vazão tipo turbina M-1 com sinal elétrico de transmissão e leitura no painel geral e duas flanges de orifícios M_2 e M_3 em paralelo, correspondendo a duas faixas de medição de vazão. Estas flanges são selecionadas pelas válvulas VI-1 e VI-2 de acionamento manual.

A etapa seguinte na sequência de operações, é a elevação da pressão às condições de teste. A pressurização do sistema é feita por meio de um pressurizador conectado ao circuito logo a saída da seção de testes para melhor amortecimento das variações do volume da água do circuito e para melhor controle da pressão à saída do canal. O pressurizador é constituído, essencialmente, por uma resistência elétrica mergulhada no líquido contido em recipiente com céu de vapor. A atuação nesta resistência, permite a elevação gradativa da tensão de vapor pressurizando o líquido no circuito.

Nêste circuito várias seções de testes serão estudadas. Do ponto de vista mecânico, elas são limitadas a um comprimento máximo de 3 metros. Estas seções são constituídas por elementos metálicos, nos quais se dissipa energia elétrica em corrente contínua. A potência máxima a ser dissipada, é da ordem de 350 kw. Uma tal potência é conjugada, na execução das experiências, com as condições do líquido à entrada da seção. Estas condições são ditadas pelo sistema de remoção de calor do circuito e pelo pré-aquecedor.

As condições de admissão do refrigerante à entrada da seção de testes, são ditadas pelo sistema de remoção de calor representado pelo trocador de calor E-103 e pelo pré-aquecedor E-101. A atuação no secundário do trocador (válvulas VI-14,16), permite a extração de maior ou menor quantidade de calor a ser dissipado, em última instância, na torre de refrigeração. O pré-aquecedor de 20 kw permite o ajuste fino da tempe

ratura e assegura a ausência de cavitação na bomba.

A temperatura de operação normal é determinada pelas condições dos testes a serem realizados, e o seu máximo é tomado como 200 °C, temperatura de saturação correspondente à pressão de 15 atm.

Conta-se ainda com o desvio de seção de testes, que terá como finalidade precípua o funcionamento de condensador de mistura no caso de formação importante de vapor na seção de testes.

A operação de esvaziamento do circuito faz-se primeiro por depressurização gradativa do sistema pela atuação simultânea na resistência elétrica e no sistema de remoção de calor e, finalmente, por gravidade por meio de válvulas nos pontos baixos do circuito.

3.3. SISTEMA DE DESMINERALIZAÇÃO DE ÁGUA

O sistema central de desmineralização tem por finalidade o tratamento adequado da água a ser utilizada em vários dispositivos experimentais, onde se necessita de água de elevada pureza, com uma alta resistividade. Para se evitar corrosão dos componentes, mal isolamento elétrico, eletrólise na seção de teste e imprecisão nas medidas, a água circulante deve ter sua resistividade elétrica sempre superior a 1 Mohm x cm.

No projeto deste sistema admite-se, como ponto de partida, a análise da água bruta disponível na Cidade Universitária de Belo Horizonte, a saber :

Origem : poço artesiano
 Temperatura : 23 °C
 p^H : 6,5
 Condutividade : 54 μmho/cm
 Resistividade : 1,85 x 10⁴ ohm - cm = 0,0485 M.Ω/cm

Ânions : (expressos como ppm de Ca Co₃)

- cloretos	- 1,062 ppm
- gás carbônico	- 18,97 ppm
- sulfatos	- 3,85 ppm
- S i O ₂	- 70,0 ppm
<hr/>	
TOTAL DE ANIONS	- 93,88 ppm

Cátions

- Dureza total (Ca + Mg)	- 30,40 ppm
- Ferro	- 0,05 ppm
- Alumínio	- 0,03 ppm
- Sódio	- 1,77 ppm
<hr/>	
TOTAL DE CÁTIONS	- 32,25 ppm

Sólidos por evaporação - 4,91 ppm

Turbidez - 9,0 ppm

Efluentes requeridos : resistividade em torno de 10 Mohm x cm

A fim de se garantir o nível desejado de resistividade da água em circulação, uma derivação através da válvula VC-4 após a bomba, permite tratamento da água durante a operação do circuito. A água em circulação nessa derivação, é normalmente de 10% da vazão do circuito principal (porcentagem necessária para manter a água deionizada do circuito com a resistividade elétrica desejada), podendo entretanto, ser aumenta

0,06 $\frac{1}{2}$ $\frac{111}{111}$

da até 216 l/h (limite devido à coluna troca-ions por motivo de arraste da resina). Esta operação se processa à temperatura máxima permissível de 50 °C.

(central)

Este sistema de desmineralização, compõe-se dos seguintes equipamentos: um filtro de água bruta de cartuchos de papel; um filtro de carvão ativo; um hidrômetro totalizador; um manômetro; uma coluna reservatório de resina catiônica Amberlite IR-120; 2 colunas reservatório de resina aniônica Amberlite IRA-402; uma coluna reservatório de mistura de resinas aniônicas e catiônicas Amberlite IRA-410, Amberlite IR-120 (mixed-bed); um medidor de resistividade; um filtro de retenção de impurezas (retém, inclusive, eventual escape de resina); recipientes, para preparo das soluções ácidas e alcalinas para a regeneração, equipadas com hidro-ejetores; válvulas de isolamento e regulagem; tubulações e conexões.

Central

O sistema é, inicialmente, proposto de modo a permitir uma desmineralização contínua de 150 litros por hora, produzindo 6.000 litros de água desmineralizada entre regenerações, com resistividade nominal de 10 Mohm x cm. Sua ampliação é, desde já, prevista. Um tanque depósito V-103 instalado na estrutura suporte do CT 1, permite a armazenagem de 1.500 litros de água para pronta utilização.

O fluxograma do sistema de desmineralização é parte do desenho 01-001.

3.4. SISTEMA DE RESFRIAMENTO

Este sistema tem como finalidade a eliminação do calor gerado no circuito térmico propriamente dito, através do trocador de calor E-103 e para resfriamento da água desmineralizada que circula no circuito de troca de ions, através do trocador de calor E-104. É necessária a existência de dois circuitos independentes, para o perfeito controle da distribuição de vazão entre esses dois componentes.

Esse sistema é, igualmente, apresentado no desenho 01-001 .

A água de alimentação é obtida de poços artesianos existentes e armazenada na caixa de água R. Uma tubulação e uma válvula de boia, mantêm o tanque coletor da torre E-106 sempre cheio.

Para alimentar o trocador principal E-103, a água sai do tanque coletor da torre E-106 ao se abrir a válvula VI-14, passa pelo filtro F 1, pela bomba B-102 e vai ao trocador E-103. Um desvio na bomba possibilita, em determinadas condições de vazão, a circulação da água por gravidade. A água, ao sair do E-103, passa pela válvula VM-4 de regulação e vai à torre de resfriamento de água E-106. Há nesse trecho uma saída para drenagem através da VI-13. O trocador principal é dimensionado para as cargas térmicas desenvolvidas na Seção de Testes-ST e pré-aquecedor, isto é, 370 kw.

Para alimentar o trocador E-104, a água sai do tanque coletor da torre ao se abrir a válvula VI-15, passa pelo filtro F-2, pela bomba B-103 também munida de desvio pelo mesmo motivo anterior. A água, ao sair do trocador E-104, passa pela válvula de regulação VM-5 e retorna à torre de resfriamento, onde é lançada no tanque coletor.

Em regime normal, prevê-se para a temperatura da água valores iguais a 30 °C e 50 °C à saída e entrada da torre, respectivamente. O sistema deverá operar inicialmente com uma carga térmica máxima de 370 kw, equivalente a 88,5 K cal/seg. A torre de refrigeração foi, entretanto, dimensionada para carga térmica máxima de 100 K cal/seg.

3.5. SISTEMA ELÉTRICO

As instalações elétricas destinam-se à alimentação da seção de testes e dos sistemas auxiliares. A alimentação dos sistemas auxiliares constituídos por motores que acionam bombas, válvulas, etc., faz-se em corrente alternada, de maneira convencional. A alimentação da seção de testes é realizada em corrente contínua a baixa tensão.

O sistema de alimentação da seção de testes, consta de um transformador abaixador de 13,2 kV para 70 V, e de um conjunto retificador - regulador com potência máxima igual a 420 kw. O retificador controlável é constituído por duas unidades iguais em paralelo, correspondendo a uma saída de 7840 A a 45 V. Nestas unidades utilizam-se tiristores de silício.

O princípio de regulação adotado, utiliza corrente constante de modo que a corrente de saída é independente das variações da tensão da rede. A energia aplicada à seção de testes, é controlada através desses tiristores. O circuito de retificação é de 2 x 6 pulsos com defasamento de 30°, o que resulta num sistema de 12 pulsos.

A potência de alimentação é ajustável desde zero. O controle dará uma estabilidade de corrente melhor que 0,25%, para variações de até 10% da tensão da rede. A ondulação da tensão de saída deverá ser menor que 1%, sendo 720 hz sua frequência.

3.6. INSTRUMENTAÇÃO

Realizam-se, ao longo das linhas hidráulicas do circuito, medidas de temperatura, vazão, pressão, potência elétrica, resistividade elétrica e teor de oxigênio. Por razões de segurança e do grande número de medidas simultâneas, que correspondem à ação imediata do operador,

3.5. SISTEMA ELÉTRICO

As instalações elétricas destinam-se à alimentação da seção de testes e dos sistemas auxiliares. A alimentação dos sistemas auxiliares constituídos por motores que acionam bombas, válvulas, etc., faz-se em corrente alternada, de maneira convencional. A alimentação da seção de testes é realizada em corrente contínua a baixa tensão.

O sistema de alimentação da seção de testes, consta de um transformador abaixador de 13,2 kV para 70 V, e de um conjunto retificador-regulador com potência máxima igual a 420 kw. O retificador controlável é constituído por duas unidades iguais em paralelo, correspondendo a uma saída de 7840 A a 45 V. Nestas unidades utilizam-se tiristores de silício.

O princípio de regulação adotado, utiliza corrente constante de modo que a corrente de saída é independente das variações da tensão da rede. A energia aplicada à seção de testes, é controlada através desses tiristores. O circuito de retificação é de 2 x 6 pulsos com defasamento de 30°, o que resulta num sistema de 12 pulsos.

A potência de alimentação é ajustável desde zero. O controle dará uma estabilidade de corrente melhor que 0,25%, para variações de até 10% da tensão da rede. A ondulação da tensão de saída deverá ser menor que 1%, sendo 720 hz sua frequência.

3.6. INSTRUMENTAÇÃO

Realizam-se, ao longo das linhas hidráulicas do circuito, medidas de temperatura, vazão, pressão, potência elétrica, resistividade elétrica e teor de oxigênio. Por razões de segurança e do grande número de medidas simultâneas, que correspondem à ação imediata do operador,

estas grandezas são registradas e controladas à distância . Os valores medidos, são enviados à um painel geral de medida e controle.

3.6.1. Temperaturas

Os sensores para medidas de temperatura são de 2 tipos: termopares T_i (25 pontos) e termorresistores TR_i (2 pontos), instalados de acordo com o fluxograma desenho nº 01-001.

A leitura de temperaturas tomadas por termopares, é feita das seguintes formas :

- T_1 a T_4 : utilizarão 4 registradores indicadores RCT_i , com chaves de alarme reguláveis.
- T_5 a T_{25} : êsses sensores podem ter leituras, das seguintes formas:
 - a) 1 Indicador de precisão TI-1 escala rotativa, com chave seletora ST-1, de 24 pontos
 - b) 1 Indicador registrador, gráfico de rolos, indicação por pontos, ciclo de 24 pontos, RT-1
 - c) 1 Indicador registrador RT-2 , gráfico de rolos, indicação contínua, 2 penas, com chaves seletoras de 24 pontos para cada pena ST-2 e ST-3

Os sensores de temperatura T_i , podem ser ligados por simples ação de chave, a qualquer instrumento TI-1, RT-1 ou RT-2. Os instrumentos RCT-1, RCT-2, RCT-3 e RCT-4, normalmente, estão conectados aos sensores T_1 , T_2 , T_3 e T_4 . Para a inserção de qualquer outro sensor T_i , será utilizado o sub-painel de tomadas de ligação, ligando-se os plugs correspondentes a qualquer T_i , nos instrumentos tipo RCT_i .

A leitura da temperatura tomada pelos termorresistores TR-1 e TR-2, será feita por ponte resistiva portátil. No painel haverá 2 tomadas para inserção desse instrumento.

Deu-se ao sistema de instrumentação para medição de temperatura acima descrito uma solução considerada a mais adequada quanto aos propósitos de versatilidade, precisão e custos.

3.6.2. Vazões

Para medidas de vazão, foram previstos os seguintes instrumentos: medidor tipo turbina, tipo orifício e fluxômetro integrador.

O medidor de vazão rotativo, tipo turbina M 1, é instalado na posição indicada no desenho 01-001, no circuito principal. Esse medidor tem faixa de medidas variando de aproximadamente zero a um máximo de 5 l/s, com precisão de $\pm 0,25\%$. O sinal gerado no medidor turbina, sob forma de pulsos elétricos, é transmitido aos instrumento indicador MI-1.

Os medidores de vazão por flanges de orifício M_2 e M_3 , são montados no circuito principal, conforme mesmo desenho, antes da seção de testes, em paralelo. Destinam-se à medidas em faixas de vazão distintas, o primeiro para vazões até 1,5 l/s e o segundo para vazões até 5 l/s. As flanges de orifício são calculadas para darem perda de carga de 2,5 MCA nas vazões máximas. As pressões diferenciais indicadas por M_2 e M_3 , são transmitidas diretamente a um instrumento MI-2, tipo célula de Barton montado no painel, com fundo de escala em MCA. Há nesse circuito, conjunto de válvulas com controle manual, que permite utilizar o instrumento com as duas flanges de orifício M_2 e M_3 , uma de cada vez.

Um fluxometro totalizador MT 1 está instalado no circuito de deionização de água. Sua finalidade é dupla: achar a vazão ótima de funcionamento do sistema deionizador, de modo a evitar a erosão da resina, e, por outro lado, controlar o seu rendimento e eficiência.

3.6.3. Pressões

Dois tipos distintos de medidores de pressão são utilizados: manômetros de Bourdon e células de Barton.

Os manômetros de Bourdon: P₁ a P₄, localizados conforme desenho nº 01-001, no circuito principal do C.T. 1, para medida de pressão absoluta. Os manômetros propriamente ditos, serão montados no painel, sendo a transmissão de pressão feita por linhas hidráulicas.

O Indicador célula de Barton MI-3, mede pressões diferenciais entre as extremidades do canal de escoamento. Linhas de transmissão hidráulicas transmitem a pressão, desde a seção de testes até o painel.

3.6.4. Potências

A potência dissipada na seção de testes é medida por um wattímetro de corrente contínua. A potência dissipada no pré-aquecedor e pressurizador, são medidas por wattímetros convencionais em corrente alternada.

3.6.5. Resistividades elétricas

O grau de deionização da água, será medido por intermédio da resistividade elétrica da água. Os instrumentos de medida de resistivida-

de previstos são MR-1, MR-2 e MR-3. MR-1 indica os níveis de resistividade da água estocada no tanque depósito V-103, enquanto os instrumentos MR-2 e MR-3 indicam a resistividade no circuito deionizador antes e depois da coluna troca ions. Os terminais dos sensores, são igualmente levados a tomadas no painel e por meio de ponte resistiva portátil são feitas as leituras de resistências. Estes instrumentos são munidos de células para compensação de temperatura e possuem faixa de medida até 10 Mohm. cm.

3.6.6. Teores de oxigênio

O teor de oxigenação da água é indicado por analisador de oxigênio (GAS), localizado na região de baixa temperatura do circuito principal. O gasímetro utilizado cobre uma faixa de 0 a 10 ppm de volume de oxigênio dissolvido.

3.7. ARRANJO FÍSICO E IMPLANTAÇÃO

O estudo da distribuição dos diversos componentes do circuito principal, levou à solução final apresentada em detalha no desenho 01 - 401. A implantação deste circuito nas dependências do Laboratório de Térmica é apresentada no desenho 01-002.

Os sistemas auxiliares de fornecimento de energia, de resfriamento e tratamento de água projetados servem, igualmente, a outros circuitos experimentais ora desenvolvidos neste laboratório. Estes sistemas são apresentados no desenho de nº 01-002.

PARTE 4 - ESPECIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

4.1. INTRODUÇÃO

No capítulo anterior estudou-se o processo de funcionamento do circuito, apresentando-se características gerais dos componentes do circuito principal e dos sistemas auxiliares. A maior parte desses componentes não são encontrados no comércio, satisfazendo as especificações impostas pela necessidade de se realizarem experiências cujos níveis de precisão e tecnicidade são superiores aos encontrados na indústria. Torna-se necessário o cálculo destes componentes especiais, tendo-se como ponto de partida as características de funcionamento provenientes da análise dos estudos de transferência de calor a serem realizados e dos meios de fabricação disponíveis no país.

4.2. SEÇÃO DE TESTES

Há um espaço de 3 metros de comprimento na direção vertical, onde se coloca, não simultaneamente, diversas seções de testes especificadas para as diversas experiências. O escoamento do fluido é ascendente. Na tubulação, abaixo da seção de testes, existe uma junta de dilatação e acima, um visor de controle.

A seção de testes é um elemento de tubulação de forma e dimensões determinadas, onde se dissipa energia elétrica por efeito Joule, com potência variável de 0 até o máximo previsto de 350 kw, em corrente contínua. Dispõe a seção de testes de pontos para montagem de senso

res para determinação de parâmetros, tais como, pressão, temperatura e outros.

4.2.1. Geometria das seções de testes

Várias seções de testes serão estudadas. Entre estas, as que têm área de troca de calor extremas são :

- Seção de testes constituída por um tubo único, funcionando como resistência elétrica, no interior do qual flue a água refrigerante (ST_t). As dimensões desse tubo são :

- Comprimento : $L = 100$ cm
- Diâmetro : $d_i = 1$ cm
- Espessura da parede : $e = 0,15$ cm

O material, como em toda a tubulação principal do C.T. 1, é aço inoxidável.

- Seção de testes constituída por um feixe de 7 tubos, funcionando como resistência elétrica, inserido num outro tubo, através do qual flue a água refrigerante (ST_f). Neste caso, as dimensões dos tubos constituintes desse feixe, são :

- Comprimento : $L = 100$ cm
- Diâmetro : $d_e = 1$ cm
- Espessura da parede : $e = 0,1$ cm

O material, como no caso anterior, é aço inoxidável.

4.2.2. Potências máximas dissipadas nos casos de seções de testes extremas

A potência elétrica dissipada nas seções de testes é máxima quando se deseja determinar valores do fluxo de calor crítico, $\varphi_{t \text{ crit}}$.

De acordo com experiência obtida em outros laboratórios, o fluxo crítico é da ordem de 400 W/cm^2 para o caso da seção de testes em tubo único. Para a seção de troca de calor :

$$S_t = \pi \times d_i \times L = 314 \text{ cm}^2$$

tem-se a potência máxima dissipada

$$P_t = S_t \times \varphi_{t \text{ crit}} = 125.600 \text{ W} \approx 125 \text{ kw}$$

No caso das seções de teste em feixe de 7 varetas, a potência elétrica máxima dissipada na S.T._f será de acordo com experiência da ordem de 150 W/cm^2 . Para a seção de troca de calor :

$$S_f = \pi \times d_e \times L \times 7 = 2198 \text{ cm}^2$$

tem-se a potência máxima dissipada :

$$P_f = S_f \times \varphi_{f \text{ crit}} = 329.700 \text{ W} \approx 330 \text{ kw}$$

Considera-se para o projeto o valor máximo da potência igual a 350 kw, adotando-se margem de segurança devido às perdas de calor, etc.

4.3. CONJUNTO RETIFICADOR

O conjunto retificador será responsável pela alimentação elétrica da seção de teste, para todas as experiências programadas. Essa energia deverá ser fornecida em corrente contínua, C.C., para se evitar perturbações nas medidas e vibrações da ST, devido à indução de forças eletromagnéticas.

Foi escolhido um conjunto estático de retificação e controle em face da análise dos seguintes fatores: custo, tempo de resposta, manutenção e ruído.

4.3.1. Corrente elétrica máxima

A corrente elétrica máxima do conjunto retificador, será a necessária para se produzir o fluxo de calor crítico na ST_f.

Para $P_f = 350$ kw (determinado anteriormente), resistividade elétrica $\rho_{\text{inox}} = 8 \times 10^{-5}$ ohm. cm, comprimento $L = 100$ cm, diâmetro $d_e = 1$ cm e espessura $e = 0,1$ cm, tem-se:

Resistência elétrica do feixe

$$R_f = \rho \frac{L}{s_f}$$

onde

$$s_f = 7 \left[\left(\frac{\pi d_e^2}{4} \right) - \frac{\pi (d_e - 0,2)^2}{4} \right] \approx 1,96 \text{ cm}^2$$

Então

$$R_f \approx 0,004 \text{ ohm}$$

Sendo I_{\max} esta corrente máxima, tem-se :

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{P_f}{R_f}}$$

Então

$$I_{\max} \cong 7840 \text{ A}$$

A corrente elétrica máxima do conjunto retificador I_{\max} é 7840 A. Esta pode ser determinada graficamente como mostram os Gráficos 1 e 2 .

4.3.2. Tensão máxima nos bornes do retificador

A tensão máxima nos bornes do retificador será a necessária para se produzir o fluxo de calor crítico na ST_t .

Neste caso $P_t = 125 \text{ kw}$ (determinado anteriormente). Para seção transversal de aço inoxidável

$$s_t = \frac{\pi (d_i + 0,3)^2}{4} - \frac{\pi d_i^2}{4} = 0,49 \text{ cm}^2$$

tem-se

$$R_t = \rho \frac{L}{s_t} = 0,015 \text{ ohm}$$

Sendo V_{\max} esta tensão máxima, tem-se

$$V_{\max} = \sqrt{P_t R_t}$$

$$V_{\max} \approx 45 \text{ V}$$

A tensão máxima nos bornes do retificador é 45 V . Esta pode ser determinada gráficamente como mostra os gráficos 1 e 2 .

4.3.3. Potência máxima do retificador

Observa-se nos itens anteriores, que para se poder trabalhar com as duas seções de testes extremas, deve-se ter um retificador para 7840 A e 45 V, o que corresponde a uma potência, P_R , de 350 kw.

Por não onerar sensivelmente os custos do retificador e para maior versatilidade, foi adotada para o retificador uma potência de 420 kw. A potência máxima do retificador pode ser determinada gráficamente, como mostra os gráficos 1 e 2.

A potência a ser dissipada na seção de testes, é controlada continuamente desde zero.

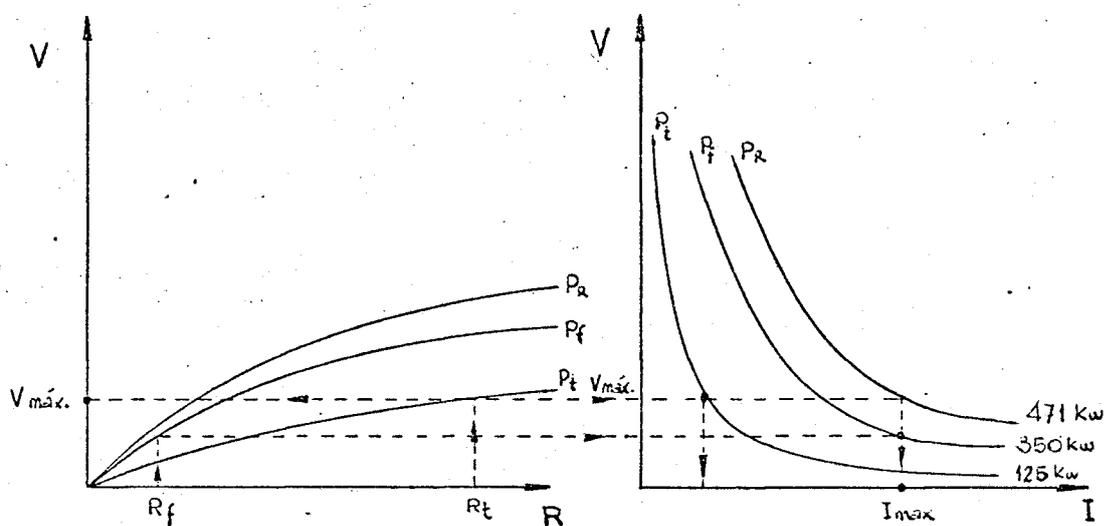


Gráfico 1 : $P = \frac{V^2}{R}$

Gráfico 2 : $P = VI$

4.4. BOMBA DE CIRCULAÇÃO

A bomba centrífuga para circulação de água no circuito principal, como todos os componentes em contato com a água desmineralizada, é construída em aço inoxidável.

Foi determinada a altura manométrica de 70 MCA para a bomba B-101, a partir de cálculos das perdas de carga na tubulação, válvulas, seções de testes. A maior parte dessa altura manométrica é absorvida pelas perdas de carga da água, ao longo da seção de testes.

A vazão volumétrica para a altura manométrica de 70 MCA, é calculada tendo-se como objetivo fazer circular a água a velocidades máximas da ordem de 10 m/seg. Com seções de passagem da água de pequenas seções de testes em feixe da ordem de 5 cm².

Desta maneira, chega-se a vazões volumétricas de 18 m³ / h (300 l/min).

Em cada experiência essa vazão pode ser variada, dentro da curva característica da bomba, variando a altura manométrica por intermédio das válvulas de controle da vazão. Para maior versatilidade, tem-se um desvio na bomba principal, que possibilita a obtenção de pequenas vazões no ST, que estariam fora da curva característica desta bomba.

O valor máximo de temperatura da água na bomba, é determinada como segue. A água circulante é pressurizada a 15 atm à saída da seção de teste. Como se prevê uma perda de carga mínima de 1,5 atm entre este ponto e a sucção da bomba, tem-se que a pressão de sucção máxima será de 13,5 atm. A água circulante é resfriada no trocador principal, antes de ir à bomba, para se evitar cavitação. Tomando uma sub-satura-

ção, correspondente à 0,5 atm da água na sucção, esse resfriamento no trocador de calor deve ser tal a nunca permitir que a temperatura da água na sucção da bomba, ultrapasse 191 °C (temperatura de saturação da água a 13,0 atm).

Essa sub-saturação de 0,5 atm, é a pressão líquida positiva acima da pressão dos vapores (NPSH), e é uma das condições de sucção na especificação da bomba.

4.5. PRÉ-AQUECEDOR

O pré-aquecedor, E-101 é utilizado no ajuste fino de temperatura à entrada da seção de testes e, para se precaver a cavitação na bomba de circulação.

A potência elétrica consumida, em CA, no pré-aquecedor, possui um controle contínuo de zero a 20 kw.

O aumento de temperatura dado pelo pré-aquecedor à água circulante, é determinado fazendo-se o balanço de energia. Para se ter idéia desses valores, observa-se que para vazão máxima de 5 l/seg, a elevação de temperatura é de 1 °C.

No desenho 01-305, apresenta-se o projeto do pré-aquecedor.

4.6. PRESSURIZADOR

Vários sistemas usuais na pressurização de fluídos em escoamentos podem ser utilizados, a saber, pressurização por coluna d'água, com auxílio da bomba principal, por meio de bomba auxiliar, a gás comprimido e por manutenção de atmosfera de vapor. No presente projeto, adotou-se a última opção pelas razões seguintes :

- é o tipo clássico de pressurização de refrigerante utilizado nos reatores a água pressurizada.
- há possibilidade de que o mesmo componente funcione como degaseificador do sistema no início da sequência de operações.
- possui notáveis características auto-estabilizantes, imprescindíveis em linhas hidráulicas com formação de vapor.

4.6.1. Funções do Pressurizador a duas fases

O desenho nº 01-304 mostra o pressurizador V-101. Esse componente pode exercer as funções seguintes :

a) Desajeração do circuito. Faz-se circular, durante algum tempo, a água do circuito pelo chuveiro A, que asperge água em ebulição com baixo título termodinâmico, dentro do pressurizador. Esta quantidade de água é reconduzida ao circuito principal, pela canalização D, fazendo-se simultaneamente uma retirada de vapor pelo conduto C. Em virtude da mistura água-vapor estar na temperatura de saturação, a solubilidade dos gases dissolvidos na água cai a zero, o que resulta nos gases serem carregados pela extração de vapor e ar.

b) Pressurização do circuito. A pressurização é mantida pelo colchão de vapor que existe na parte superior do pressurizador, em equilíbrio termodinâmico com a massa de condensado, à temperatura de saturação.

ção. Para se compensar a perda de calor, pelas paredes do vaso, um aquecedor elétrico B, submerso na água, dissipa o calor necessário para fornecer uma quantidade de vapor igual a taxa de vapor que se condensa, mantendo um estado estacionário. Quanto maior a pressão de operação, maior a temperatura de saturação, donde maiores as perdas de calor pelas paredes. Daí a necessidade do aquecedor B possuir uma resistência elétrica variável continuamente, fornecendo quantidade de calor adequada à manutenção da temperatura de saturação.

c) Compensação de pressão. A principal característica do pressurizador é de manter a pressão constante, apesar das variações de volume de líquido no circuito principal. Suponha-se que o volume da água do circuito principal seja acrescido de ΔV (devido a variação de temperatura). Este volume de água entrará no pressurizador pela tubulação D. Como consequência haverá uma compressão do sistema bifásico do pressurizador que estava em equilíbrio à pressão p_0 . Uma vez que o sistema não pode coexistir (para a mesma temperatura), para uma pressão diferente de p_0 , há condensação de uma massa Δm de vapor e, em consequência uma estabilização de pressão a uma pressão p_1 , muito próxima de p_0 .

4.6.2. Dimensões do Pressurizador

De acordo com o desenho 01-304, as dimensões de cotas C e E iguais a 5 cm, são fornecidas ao fabricante. Além dessas, as dimensões F e D são determinadas, satisfazendo a fórmula :

$$\frac{\pi D^2}{4} \times F = 0,95 \Delta V + \text{Fugas de líquido durante 10 h de funcionamento.}$$

Isso, porque verificou-se nos cálculos efetuados, que a dilatação térmica da tubulação, compensa em aproximadamente 5% a dilatação do volume d'água contido no sistema. O pressurizador deverá, portanto, ser dimensionado, para ter capacidade de acomodar esse aumento de volume da água

para uma variação de temperatura entre 25 e 200 °C e compensar as perdas da água na bomba, conexões e outros componentes. Essa acomodação deve ser feita entre o "nível mínimo" e o "nível máximo" do pressurizador. As demais dimensões são função das características dos materiais de fabricação e equipamentos utilizados.

As características de construção do pressurizador, são

- Pressão de trabalho : 15 kg/cm²
- Temperatura de trabalho : 197,3 °C
- Fluido : água desmineralizada
- Regulação : potência consumida, ajustável continuamente de 0 a 2 kw
- Alimentação elétrica : 220 V - 60 H Z - trifásica
- Os componentes do pressurizador em contato com a água, incluindo os acessórios, deverá ser construído em aço inoxidável
- Todas as juntas deverão ser do tipo metálico " O Ring ", confeccionadas em aço inoxidável.

4.7. PERMUTADORES DE CALOR

Os permutadores de calor são usados para o resfriamento da água desmineralizada do circuito principal. A versão final dos permutadores é apresentada no Desenho 01-307.

Estes trocadores são fabricados atendendo aos pré-requisitos seguintes :

- Conformidade com "Standards of Tubular Exchanges Manufacture's Association" (TEMA) classe R. O projeto dos cascos seguirá os padrões da ASME.

- As superfícies dos tubos considerados, serão as superfícies efetivas de troca de calor, isto é, aquelas situadas entre as faces internas dos espelhos.
- Os fatores de incrustação serão aqueles especificados pela TEMA, para o caso presente.
- As quedas de pressão aqui especificadas, o foram já considerando o fator de incrustação.

Os trocadores dimensionados têm as seguintes características particulares :

a) Trocador principal (E-103) -

Tipo "Shell and Tube"

Fluído quente : Água desmineralizada

Temperatura de entrada Max.: 197,3 °C , Min.: 150 °C

Temperatura de saída Max.: 177 °C , Min.: 133,3 °C

Vazão máxima : 18.000 l/h

Fluído frio : Água de refrigeração

Temperatura de entrada : 30 °C

Temperatura de saída : 50 °C

Pressão de trabalho do casco : 15 atm

Pressão de trabalho dos tubos : 3 atm

Queda de pressão máxima permissível nos tubos = 0,7 atm

Queda de pressão máxima permissível no casco = 0,7 atm

b) Trocador do sistema desmineralizador (E-104)

Tipo "Shell and Tube"

Fluído quente : Água desmineralizada

Temperatura de entrada : 150 °C

Temperatura de saída : 40 °C

Vazão máxima : 216 l/h

Fluído frio : Água de refrigeração

Temperatura de entrada : 30 °C

Temperatura de saída : 50 °C

Pressão de trabalho do casco = 15 atm

Pressão de trabalho dos tubos = 3 atm

Queda de pressão máxima permissível nos tubos = 0,7 atm

Queda de pressão máxima permissível no casco = 0,7 atm

Para a confecção dos trocadores completos, incluindo flanges e conexões, deverá ser usado aço inoxidável.

4.8. OUTROS COMPONENTES

O volume de cálculos necessários ao dimensionamento dos outros equipamentos é, relativamente, menos importante que os correspondentes aos itens anteriores. Neste caso apresentam-se os seguintes resultados

a) Coluna troca-ions (E-105)

- Pressão de trabalho - 18 atm
- Temperatura de trabalho - 50 °C
- Fluído circulante - água desmineralizada
- Vazão máxima - 216 l/h
- Vazão mínima - 21,6 l/h
- Sentido de circulação - de cima para baixo
- Resistividade da água na saída - 10×10^6 ohm x cm

b) Torre de resfriamento (E-106)

- Material : Madeira "Ipê"
- Capacidade : 18 000 LPH ou 350 000 K cal/h

- Dimensões : Altura 3,77 m , comprimento 1,53 m e largura 1,53 m

c) Tanque de água desmineralizada (V-103)

- Material : Aço inoxidável
- Dimensões : 1,50 m x 1,50 m x 0,80 m

d) Bomba de circulação de água para o trocador principal (B-102)

- Material : Ferro fundido
- Capacidade : 15,30 m³/h

c) Bomba de circulação de água para o trocador secundário (B-103)

- Material : Ferro fundido
- Capacidade : 1,80 m³/h

4.9. TUBULAÇÕES E INSTALAÇÃO ELÉTRICA

Os elementos necessários à composição das linhas hidráulicas (tubos, isolamentos, conexões, válvulas, etc), foram todos especificados para resistirem às pressões e temperaturas máximas admissíveis, admitindo-se uma velocidade máxima de circulação do fluido de 4 m/s. Esses elementos são listados e apresentados aos montadores na forma de isométricos.

Os constituintes do sistema elétrico (chaves, disjuntores, conectores, barramentos aéreos, fiação, etc), foram igualmente especificados e listados.

4.10 - INSTRUMENTAÇÃO

A maior parte dos instrumentos de medida e controle, é de procedência estrangeira. A sua seleção está baseada em extensa documentação

ção. O conhecimento preciso das características técnicas desses instrumentos, imprescindível a completa visão do projeto, é possível pelo exame do anexo 1 .

PARTE 5 - RESULTADOS E CONCLUSÕES

Todos os componentes do circuito principal e dos sistemas auxiliares, foram fabricados no país e encontram-se, atualmente, no canteiro de obras. A instrumentação básica, foi integralmente adquirida, sendo em sua maior parte de procedência estrangeira. As montagens vêm sendo realizadas segundo o cronograma apresentado em anexo.

A troca constante de informações com a indústria, permitiu a formação no Laboratório de Térmica do Instituto de Pesquisas Radioativas, de uma equipe de técnicos capaz de prosseguir com projetos similares, cada vez mais avançados.

No decorrer do projeto, teve-se em mente canalizar todo esforço no sentido de se utilizar os recursos nacionais disponíveis, no desenvolvimento de um equipamento versátil do ponto de vista de experiências a serem realizadas e com possibilidades de ampliações futuras.

Finalmente, o projeto e construção do Circuito Térmico Experimental nº 1, primeiro no gênero no Brasil, representa o marco inicial na implantação de Laboratório de Térmica do Instituto de Pesquisas Radioativas.

REFERENCIAS

1. S.S. BRITO et allia - Projeto INSTINTO - Relatório Final - Período 1965-67 - IPR- DR - 1967
2. PINHEIRO, R.B. et allia - Projeto TORUNA - Período 1970/71 - IPR - DR - 1971
3. CAMPOS, J.L. e TÓFANI, P.C. - Implantação de um Laboratório de Térmica de Reatores no I.P.R. de Belo Horizonte - A ser apresentado no 2º Simpósio Brasileiro de Transferência de Calor e Mecânica dos Flúidos, em Belo Horizonte de 28/6 a 3/7/1971
4. TONG, L.S. - Boiling Heat Transfer and Two-Phase Flow - Wiley - 1966
5. WALLIS, G.B. - One Dimensional Two-Phase Flow - Mc Graw Hill - 1966
6. MONDIN, H. - Les Etudes Thermiques Nucléaires en France et leurs Applications Non - Nucléaires - XVI Congresso Nucleare di Roma - 25-26/3/1971
7. SHIRES, G.L. - Report on UKAEA Developments of Thermo - Dynamics in the Nuclear Fields - XVI Congresso Nucleare di Roma - 25-26/3/1971
8. FRANCO, G. - Sviluppi della Termotecnica in Campo Nucleare e Loro Contributo ad altre Applicazioni: Alcune Considerazioni sulla Situazione Italiana - XVI Congresso Nucleare di Roma - 25-26/3/1971

.34.bis

9. BARRLING, G. - Test Rigs, Loops and Autoclaves. Aktiebolaget
Atomenergi S-410 . 1970

ANEXO I - ESPECIFICAÇÃO DOS INSTRUMENTOS

1 - TERMOPARES

ITEM : T1 a T25

APLICAÇÃO : Sensores para medida da temperatura em pontos diversos do CT-1.

QUANTIDADE: 25 unidades.

CARACTERÍSTICAS :

- 1 - Faixa de temperatura: 0 - 200 °C
- 2 - Material: cobre - constantan
- 3 - Isolamento: lã de vidro
- 4 - Tensão de saída: 50 μ V/°C
- 5 - Montagem prevista: Em tubo de aço inox 316, 54 x 50 mm em bainha de aço inoxidável, com enchimento de gesso.

2 - INDICADOR DE TEMPERATURA

ITEM : RCT-1 a RCT-4

APLICAÇÃO : Indicação e registro (com alarme regulável) de temperatura tomada por sensores termopares.

QUANTIDADE: 4 unidades.

CARACTERÍSTICAS :

- 1 - Tempo de resposta : 5 seg
- 2 - Requisitos de potência: 230 ou 115 volts - 50 ou 60 Hz
- 3 - Montagem : em painel
- 4 - Precisão de leitura : $\pm 0,5$ °C
- 5 - Velocidade do gráfico : 1 revolução cada 8 horas
- 6 - Graduação do gráfico : 0 a 200 °C

3 - INDICADOR DE TEMPERATURA

ITEM : RT-1

APLICAÇÃO : Indicação e registro de temperatura tomada por sensores termopares.

QUANTIDADE: 1 unidade

CARACTERÍSTICAS :

- 1 - Precisão de leitura : $\pm 1^{\circ}\text{C}$
- 2 - Indicação : por pontos
- 3 - Gráfico : de rolos
- 4 - Montagem : embutido em painel
- 5 - Ciclo : 24 pontos
- 6 - Graduação da escala : 0 a 200°C
- 7 - Graduação do gráfico : 0 a 200°C

4 - INDICADOR DE TEMPERATURA

ITEM : TI-1

APLICAÇÃO : Indicação com precisão de temperatura tomada por sensores termopares.

QUANTIDADE: 1 unidade

CARACTERÍSTICAS :

- 1 - Precisão de leitura : $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$
- 2 - Escala : rotativa
- 3 - Montagem : embutida em painel com chave seletora de 24 pontos.
- 4 - Graduação da escala : 0 a 200°C

5 - INDICADOR DE TEMPERATURA

ITEM : RT₂

APLICAÇÃO : Indicação e registro de temperatura tomada por sensores termopares.

QUANTIDADE: 1 unidade

CARACTERÍSTICAS :

- 1 - Precisão de leitura : $\pm 1^{\circ}\text{C}$
- 2 - Indicação : contínua com 2 penas
- 3 - Gráfico : de rolos
- 4 - Montagem : embutido em painel com chaves seletoras de 24 pontos.
- 5 - Graduação da escala : 0 a 200 $^{\circ}\text{C}$
- 6 - Graduação do gráfico : 0 a 200 $^{\circ}\text{C}$

6 - CHAVES SELETORAS PARA TERMOPARES

ITEM : ST1 - ST2 - ST3

APLICAÇÃO : Seleção dos termopares cuja leitura de temperatura é desejada.

QUANTIDADE: 3 conjuntos.

CARACTERÍSTICAS :

- 1 - Número de pontos : 24
- 2 - Montagem : embutida em painel

7 - TERMORESISTORES OU TERMISTORES

ITEM : TR1 - TR2

APLICAÇÃO : Sensor de temperatura no pressurizador - TR1
Sensor de temperatura no circuito trocadores - TR2

QUANTIDADE: Uma unidade TR1
Uma unidade TR2

CARACTERÍSTICAS :

- 1 - Temperatura máxima de operação: TR1 = 200 °C
TR2 = 70 °C
- 2 - Montagem : em bainha de aço inoxidável.
- 3 - Dimensões : TR1 - Bainha com 125-150 mm comprimento
TR2 - Mínima possível: Será montado em tubo a-
ço inox 12 x 10 mm comprimento.
- 4 - Pressão : TR1 e TR2 - 20 atm, que deve ser suportada pela
bainha e conexão.

8 - PONTE RESISTIVA

APLICAÇÃO : Indicação de temperatura tomada por sensores termoresisto-
res.

QUANTIDADE : 1 unidade

CARACTERÍSTICAS :

- 1 - Montagem : Em 2 tomadas existentes no painel.

9 - MEDEDOR DE VAZÃO

ITEM : M1

APLICAÇÃO : Medida de vazão no circuito principal do CT-1.

QUANTIDADE: Uma unidade.

CARACTERÍSTICAS :

- 1 - Tipo : Molinete (turbina).
- 2 - Faixa de medida: 0 a 5 l/s. Leitura máxima 5 l/s.
- 3 - Temperatura de trabalho : 25 - 200 °C.
- 4 - Pressão máxima de trabalho : 20 atm.
- 5 - Material : aço inoxidável 316
- 6 - Leitura : a) Remota em painel. O sinal gerado no medidor deverá permitir leitura no painel.
- 7 - Precisão de leitura : 0,25 %
- 8 - Montagem : Tubo aço inox 316 - 54 x 50 mm Ø.
Acoplamento: Flanges, macho fêmea
O tubo onde será montado o aparelho é inclinado de 1% em relação à horizontal.

10 - MEDEDOR DE VAZÃO

ITEM : M2 - M3

APLICAÇÃO : Medição de vazão no circuito principal do CT-1.

QUANTIDADE: Uma unidade M2

Uma unidade M3

CARACTERÍSTICAS :

- 1 - Tipo: Flanges de orifício

	<u>M2</u>	<u>M3</u>
2 - Fluido:	Água	desmineralizada
3 - Temperatura:	25-200 °C	25-200 °C
4 - Pressão:	0-20 atm	0-20 atm
5 - Vazão:	máxima 1,5 l/s	máxima 5 l/s
6 - Pressão diferencial		
na vazão máxima:	2,5 m col. Água	2,5 m col. Água
7 - Material:	Aço inoxidável 316	
8 - Montagem: a) Tubo aço inox 316 - 54 x 50 mm Ø		
b) Acoplamento: Flanges.		
	- Os tubos onde serão montados os instrumentos, deverão ser inclinados de 1% em relação à ho- rizontal.	
9 - Precisão desejada: 1,0 %		

11 - CÉLULA DE BARTON

ITEM : MI-2 e MI-3

APLICAÇÃO : Leitura das pressões diferenciais produzidas por M2 e M3 ,
para determinação de vazões, e leitura das pressões dife-
renciais produzidas na seção de testes.

QUANTIDADE: Uma unidade para o circuito principal do CT-1
Uma unidade para a Seção de Testes - S.T.

CARACTERÍSTICAS :

- 1 - Faixa de medição: até 3 m de col. de água.
- 2 - Temperatura máxima: 200 °C
- 3 - Pressão máxima: 20 atm.
- 4 - Montagem: Em painel
- 5 - Material: aço inoxidável 316
- 6 - Precisão de leitura: 1,0 %

12 - MANOMETRO

ITEM : MT-1

APLICAÇÃO : Contrôles da quantidade de água tratada no circuito trocas iônicas.

QUANTIDADE: Uma unidade.

CARACTERÍSTICAS :

- 1 - Tipo: Totalizador de volume.
- 2 - Leitura: até 10.000 l (0 a 9999 litros).
- 3 - Fluido: a) água deionizada
b) Temperatura máxima: 70 °C (Normal 50 °C).
c) Pressão máxima: 20 atm
d) Vazão máxima: 216 l/h
- 4 - Montagem: a) Em tubo de 12 x 10 mm
b) Acoplamento: Flanges macho-fêmea.

13 - MANOMETROS DE BOURDON

ITEM : P1 - P2 - P3 - P4

APLICAÇÃO : a) P1 - Pressurizador.
b) P2 - Seção de Testes.
c) P3 e P4 - Recalque e sucção da bomba B-101 .

QUANTIDADE: 4 unidades

CARACTERÍSTICAS :

- 1 - Faixa de medição: 0-25 atm
- 2 - Temperatura máxima: 200 °C
- 3 - Fluido: água desmineralizada
- 4 - Material: Aço inoxidável 316 nas partes em contato com o fluido.

- 5 - Precisão de leitura: 0,5 atm
- 6 - Montagem: a) acoplamento rosqueado
b) Embutido em painel

14 - MEDIDOR DE RESISTIVIDADE

ITEM : MR1 - MR2 - MR3.

APLICAÇÃO : Medida da resistividade elétrica de água deionizada.

QUANTIDADE: 3 unidades.

CARACTERÍSTICAS :

- 1 - Faixa de medição: 0,5 a 10 M Ω . cm
- 2 - Temperatura máxima: 70 °C (Normal 50 °C)
- 3 - Pressão máxima : 20 atm
- 4 - Montagem: a) Do sensor: Em tubo aço inox 316 de 12 x 10 mm
 ϕ
b) Do indicador: Embutido em painel.
- 5 - Precisão de medida : 50 K Ω . cm

15 - WATÍMETRO

ITEM : R1 e R2

APLICAÇÃO : Medição da potência elétrica consumida no pressurizador e pré-aquecedor.

QUANTIDADE: 1 unidade R1

1 unidade R2

CARACTERÍSTICAS :

- 1 - Faixa de medida 0 a $\frac{R1}{25}$ kw 0 a $\frac{R2}{5}$ kw
- 2 - Montagem: embutido no painel.

16 - INDICADOR DE NÍVEL

ITEM : L1 - L2

APLICAÇÃO : Indicação de nível máximo e mínimo no pressurizador,

QUANTIDADE: 2 unidades.

CARACTERÍSTICAS :

- 1 - Tipo : De bóia, transmissão magnética.
- 2 - Pressão máxima : 20 atm (Normal 15 atm).
- 3 - Temperatura máxima : 200 °C.
- 4 - Fluido : Água desmineralizada.
- 5 - Posição : L1 - indicador de nível máximo.
L2 - indicador de nível mínimo.
- 6 - Sinal: Acionará lâmpadas de alerta.
- 7 - Energia elétrica disponível: a) 220 V 60 Hz ou
b) 110 V 60 Hz
- 8 - Material: Aço inox 316, nas partes em contato com o fluido

17 - ROTÍMETRO

ITEM : MP-1.

APLICAÇÃO : Indicação de vazão no circuito de deionização de água do CT-1.

QUANTIDADE: Uma unidade.

CARACTERÍSTICAS :

- 1 - Fluido: a) água desmineralizada
b) Temperatura máxima: 70 °C (normal = 50 °C)
c) Pressão máxima : 20 atm
- 2 - Faixa de indicação: 0 - 0,06 l/s.

- 3 - Precisão : 1%
- 4 - Material : aço inoxidável 316.
- 5 - Montagem : tubo aço inox 316 12 x 10 mm ϕ
acoplamento : flanges mono-fêmea.

18 - GASIMETRO

ITEM : GAS

APLICAÇÃO : Medida da quantidade de ar dissolvido (O_2) em circuito de água deionizada.

QUANTIDADE: Uma unidade.

CARACTERÍSTICAS :

- 1 - Fluido : Água desmineralizada.
- 2 - Pressão máxima : 1 atm.
- 3 - Temperatura máxima : 100 °C.
- 4 - Sensor : na linha de fluido para instalação em t \hat{e} de 2".
- 5 - Indicação : 0 - 10 ppm de O_2 dissolvido.

19 - VÁLVULAS SOLENOIDES

ITEM : US 1 a US 10

APLICAÇÃO : Seleção de tomadas de pressão na S.T.

QUANTIDADE: 10 unidades.

CARACTERÍSTICAS :

- 1 - Tipo : Ação direta.
- 2 - Operação : Normalmente fechada.
- 3 - Conexão : 1/4".
- 4 - Orifício : 1/8".

- 5 - Corpo : aço inoxidável.
- 6 - Vedação : aço inoxidável.
- 7 - Pressão máxima : 20 atm.
- 8 - Temperatura máxima : 200 °C.
- 9 - Tensão : 120 V_{AC} 60 Hz.

20 - VALVULAS MOTORIZADAS

ITEM : VM2 - VM3 - VM4 - VM5

APLICAÇÃO : Contrôlê fino de vazão no circuito principal - VM2.
 Contrôlê grosso de vazão no circuito principal - VM3.
 Contrôlê de vazão nos circuitos secundários para os trocadores de calor - VM4 e VM5.

QUANTIDADE : Uma unidade VM2.
 Uma unidade VM3.
 Uma unidade VM4.
 Uma unidade VM5.

CARACTERÍSTICAS :

- 1 - Temperatura máxima de operação: VM2 = 200 °C
 VM3 = 200 °C
 VM4 = 50 °C
 VM5 = 50 °C
- 2 - Material : VM2 e VM3 : aço inoxidável
 VM4 e VM5 : aço carbono
- 3 - Pressão máxima de operação : VM2 e VM3 - 20 atm
 VM4 e VM5 - 2 atm
- 4 - Montagem : Tubo aço inox 316 - 54 x 50 mm ϕ - VM3
 Tubo aço inox 316 - 1/2" ϕ - VM2
 Tubo aço carbono - 2 1/2" ϕ - VM4
 Tubo aço carbono - 1" ϕ - VM5
 Acoplamentos: Flanges, macho-fêmea.
 Botoeiras : em painel.

- 5 - Fluido : Água desmineralizada em V42 e V43
Água de refrigeração em V44 e V45
- 6 - Precisão de controle : 0,25 %
- 7 - Tensão : 120 V 60 Hz

21 - VALVULAS DE SEGURANÇA

ITEM : VA 1

APLICAÇÃO : Segurança contra sôbre-pressão no circuito.

QUANTIDADE: 1 unidade

CARACTERÍSTICAS :

- 1 - Fluido : Água desmineralizada.
- 2 - Pressão de abertura : 15 atm.
- 3 - Temperatura máxima : 200 °C.
- 4 - Montagem : Tubo aço inox 316 - 54 x 50 mm ϕ .

22 - MEDIDOR DE POTÊNCIA

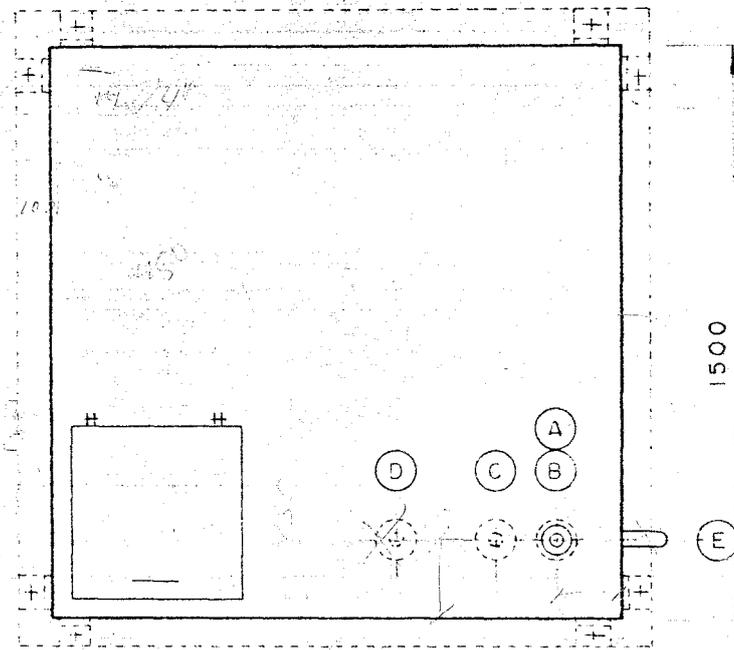
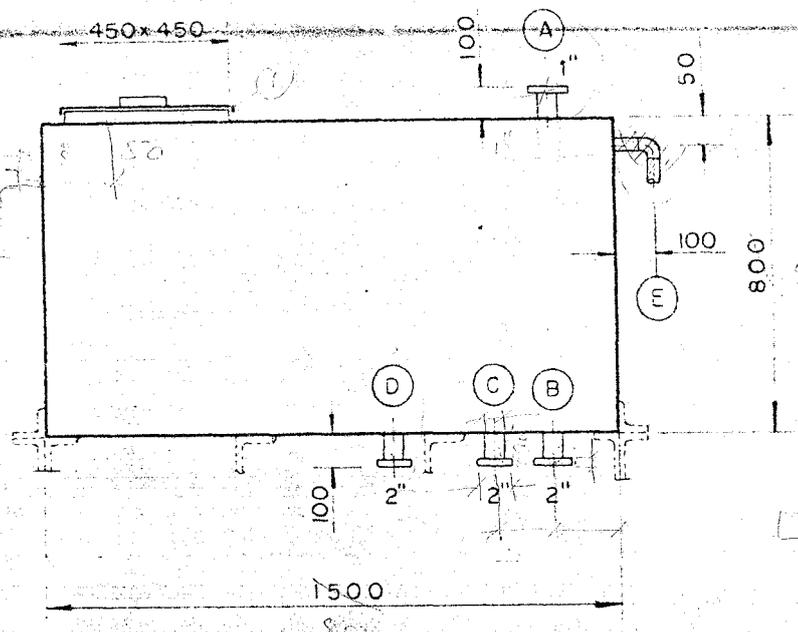
ITEM : MP

APLICAÇÃO : Medida e registro da potência elétrica consumida na seção de testes.

QUANTIDADE : 1 unidade.

CARACTERÍSTICAS :

- 1 - Registrador : portátil para medida de tensão e corrente.
- 2 - Faixa de medida : de 0 a 350 kw .
- 3 - Requisitos de potência : 110 V e 60 Hz.
- 4 - Gráfico : de rôlo.
- 5 - Precisão : 2% do valor medido.



- A - ENTRADA DE ÁGUA DESMINERALIZADA
- B - SAÍDA DE ÁGUA DESMINERALIZADA
- C - SAÍDA PARA FUTURO USO
- D - SAÍDA PARA FUTURO USO
- E - DRENO SUPERIOR

INSTITUTO DE PESQUISAS
RADIOATIVAS

CIRCUITO TÉRMICO EXPERIMENTAL Nº 1
TANQUE DE ÁGUA DESMINERALIZADA

PROJ. <i>Lincoln</i>	ESCALA	Nº 01306
DES. HAYDN	DATA 05/01/71	

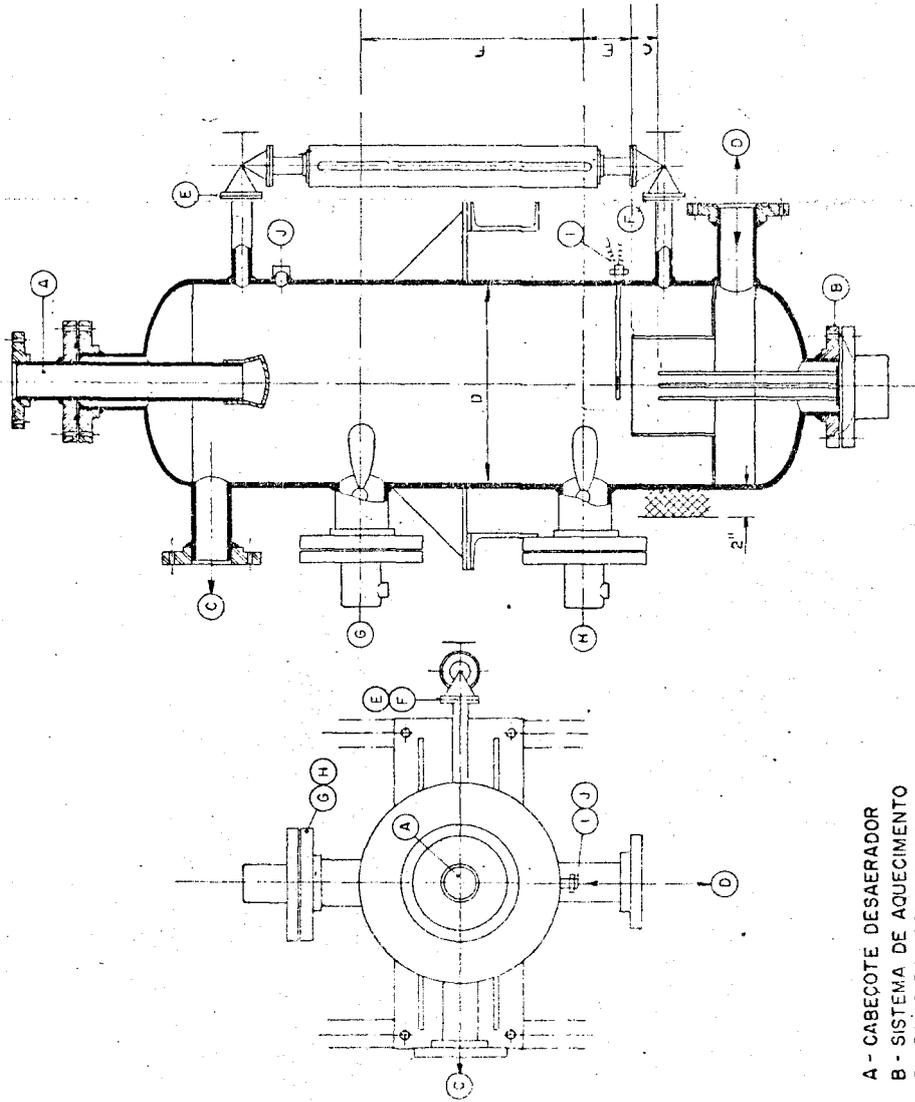
INSTITUTO DE PESQUISAS
RADIATIVAS

CIRCUITO TÉRMICO EXPERIMENTAL Nº 1
PRESSURIZADOR

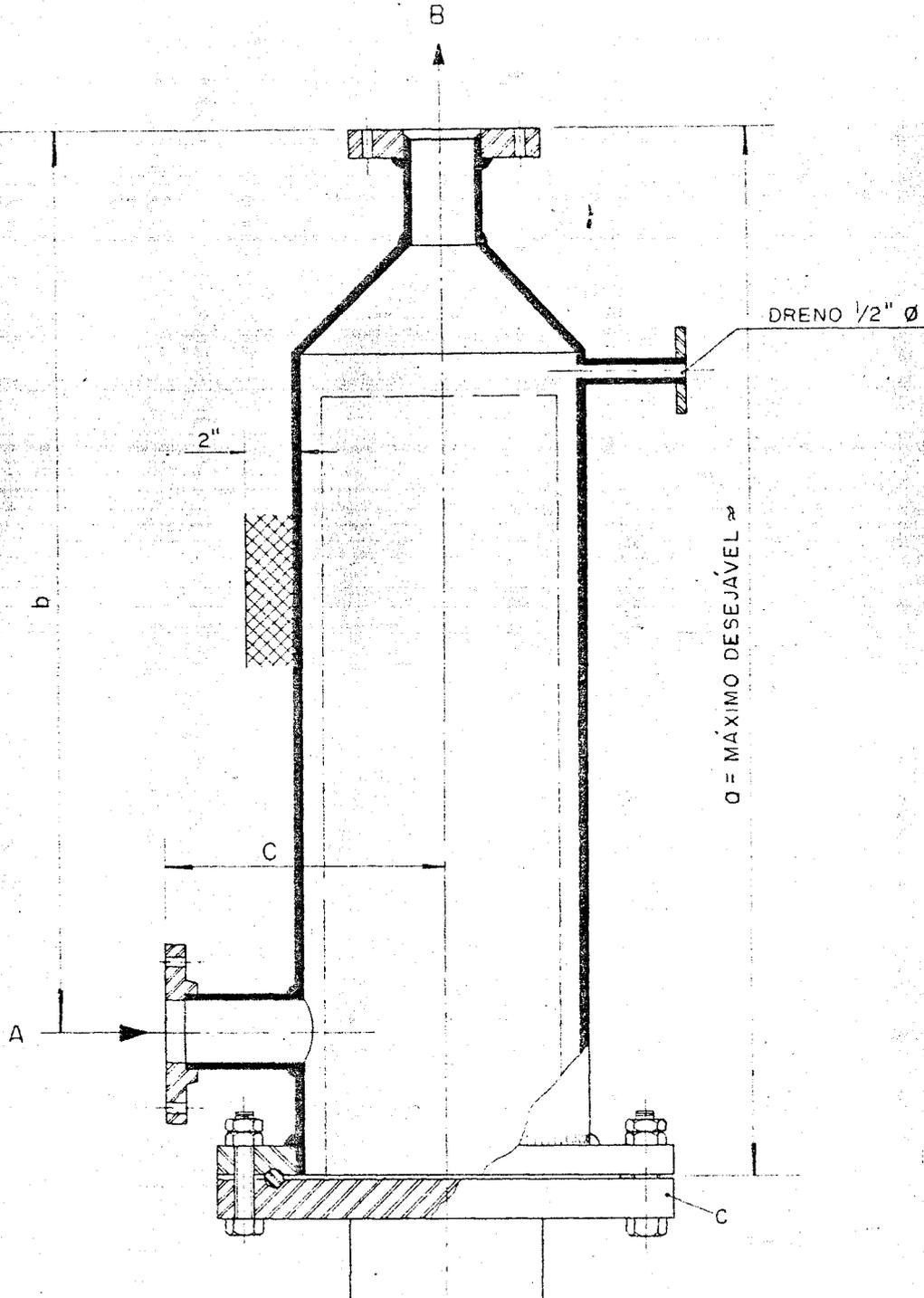
PROJ. *[Signature]* ESCALA

DES. HAYDIN DATA 31/10/70

Nº 01304



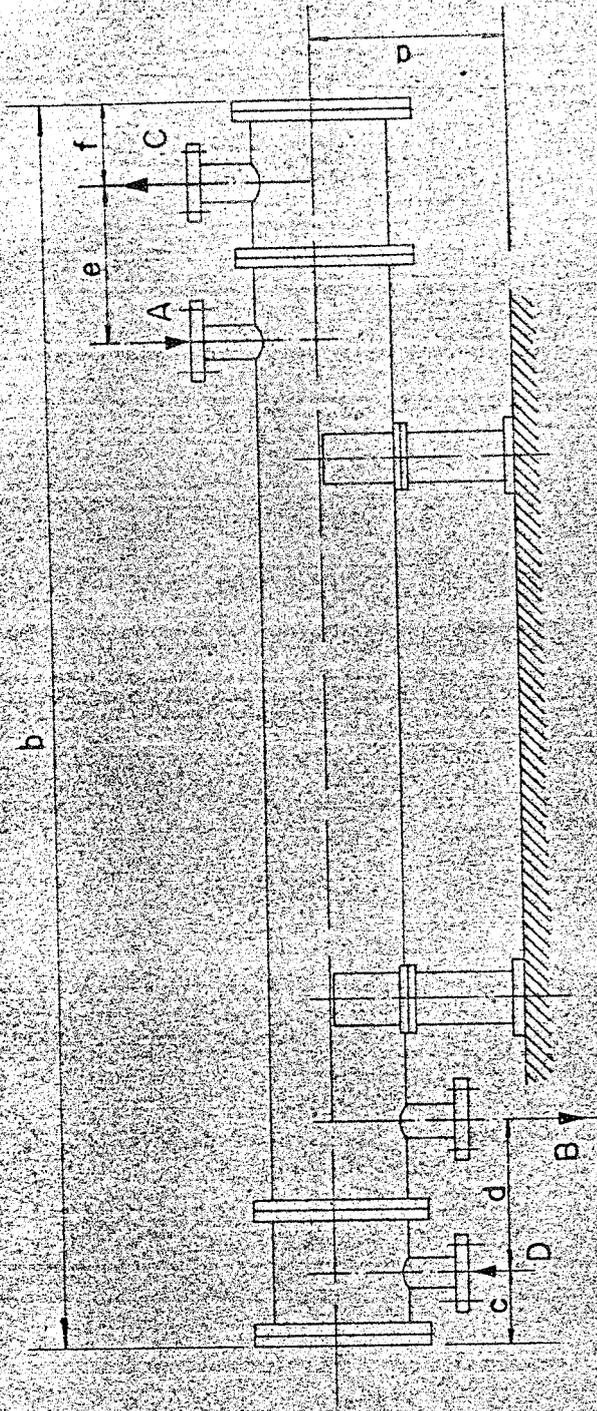
- A - CABECOTE DESAERADOR
- B - SISTEMA DE AQUECIMENTO
- C - SAÍDA DE VAPOR E AR
- D - ENTRADA DE ÁGUA DESMINERALIZADA
- E - CONEXÃO DO NÍVEL SUPERIOR
- F - CONEXÃO DO NÍVEL INFERIOR
- G - CHAVE DE BÓIA SUPERIOR
- H - CHAVE DE BÓIA INFERIOR
- I - TERMORESISTOR
- J - CONEXÃO PARA MANÔMETRO



- A - ENTRADA DE ÁGUA
- B - SAIDA DE ÁGUA
- C - SISTEMA DE AQUECIMENTO

INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS	
CIRCUITO TÉRMICO EXPERIMENTAL Nº PRÉ-AQUECEDOR	
PROJ. <i>Vinicius</i>	ESCALA
DES. HAYDN	DATA 01/01/44
Nº 01 305	

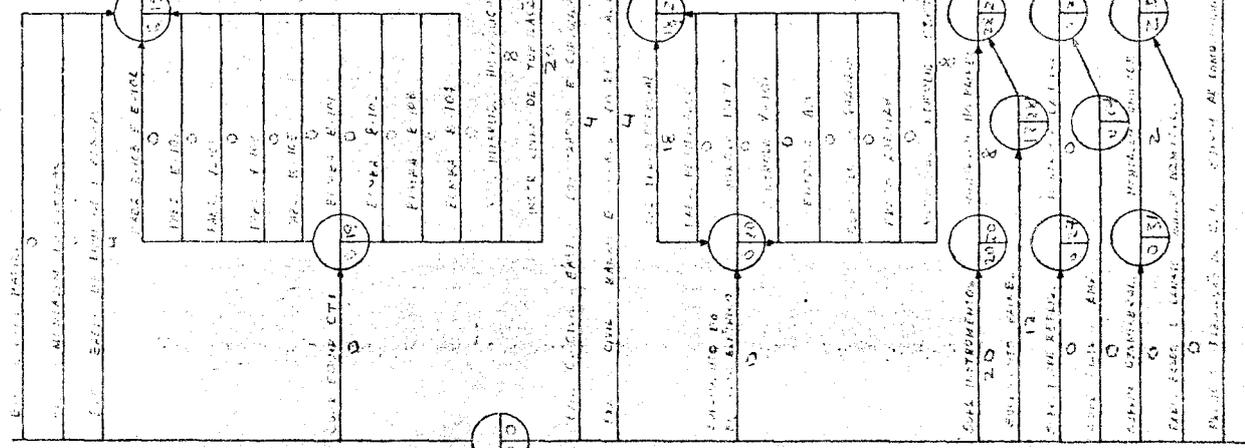
TROCADOR DE CALOR



INSTITUTO DE PESQUISAS
RADIOATIVAS

CIRCUITO TÉRMICO EXPERIMENTAL Nº 1
TROCADOR DE CALOR

PROJ. <i>Haydn</i>	ESCALA -	Nº 01307
DES. HAYDN	DATA 07/01/71	



TESTES PERFORMADOS

IPR - UFMG - CNEI	
DR - SER	
CIRCUITO TERMICO EXPERIMENTAL Nº 1	
CRONOGRAMA CPMI - EXECUÇÃO DA OBRA	ESCALA
DATA: DEZ 970	DES: HAYDN