



2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS

ATUADOR DE CONTROLE HIDROACÚSTICO PARA VÁLVULAS OPERADAS POR MERGULHADOR OU ROV

Cassio Kuchpil¹, Luiz Eduardo Alves de Lima², Nilson Luiz de Souza³

¹ PETROBRÁS – CENPES/Tecnologia Submarina, Quadra 7 – Cidade Universitária – Rio de Janeiro – RJ - Brasil, cassio@cenpes.petrobras.com.br

² Transcontrol Com. e Ind. de Prods. Eletr. Ltda, Rua Ourique, 415 – Penha Circular – Rio de Janeiro – RJ - Brasil, luizlima@transcontrol.com.br

³ Fundação Padre Leonel Franca, Rua Marquês de São Vicente, 255 – Campus da PUC – Rio de Janeiro – RJ – Brasil, nilsonls@petrobras.com.br

Resumo – Este relatório tem por objetivo descrever o trabalho desenvolvido pela TRANSCONTROL em parceria com o CENPES segundo o Termo de Cooperação No. 540.4.063.00-0 para desenvolvimento do Sistema Atuador de Controle Hidroacústico para Válvulas Operadas por Mergulhador ou ROV (SISTEMA), industrialização de um cabeça de série, elaboração de documentação de Engenharia e execução de testes de qualificação em laboratório e em campo.

O SISTEMA se presta ao telecontrole usando modems hidroacústicos, que operam atuadores elétricos alimentados por baterias instaladas próximas ao acessório. O controle é feito por unidades hidroacústicas semelhantes montadas em barcos ou plataformas. Adicionalmente, tem-se a possibilidade de obter-se remotamente o estado e a posição do atuador, o seu consumo de potência e o estado das baterias, informações que torna a operação muito mais segura e permite um melhor planejamento de operação e manutenção.

Palavras-Chave: hidroacústico; modem; atuador

Abstract – This paper intends to describe the development did by TRANSCONTROL and CENPES–PETROBRÁS during the agreement number 540.4.063.00-0 to develop the Hydroacoustic Control Actuator of Diver or ROV Operated Valves, industrialization of the prototype, creation of engineering documents and execution of qualification and field tests.

This System is useful to control devices remotely using Hydroacoustic Modems that operates electrical actuators using battery packs installed near the subsea valves. The control is done by similar hydroacoustic units mounted on boats or platforms. In addition, it can obtain remotely the status and position of the actuator, its power consumption and battery status, informations that turns the operation more secure, allowing better operation planning and maintenance.

Keywords: hydroacoustic, modem, actuator

1. Introdução

Alguns acessórios submarinos, principalmente válvulas, estão muito afastadas das Unidades de Extração de Petróleo (UEP's), o que inviabiliza a instalação de umbilicais hidráulicos de controle devido ao seu alto custo. Esses acessórios são normalmente operados por mergulhadores, o que também não é barato devido aos custos dos vasos de suporte a mergulho, os DSV's (Dive Support Vessel), além de envolver considerável risco de acidentes.

O SISTEMA utiliza sinais acústicos para transmissão e recepção de bytes de comando e estado, usando como meio de propagação a própria água, reduzindo consideravelmente custos de instalação. A operação é bastante simples podendo ser feita com um computador portátil na própria plataforma ou em um barco.

A seguir apresentamos as principais características do SISTEMA, bem como os testes realizados durante seu desenvolvimento.

2. Visão Geral do SISTEMA

O Sistema Atuador de Controle Hidroacústico para Válvulas Operadas por Mergulhador ou ROV é composto por 2 conjuntos de equipamentos:

- A Unidade de Fundo (FUNDO) que fica montada de maneira definitiva submersa junto ao acessório submarino;
- A Unidade de Topo (TOPO), de natureza móvel, fica normalmente em um navio ou plataforma de petróleo, de onde é lançada na água apenas nas ocasiões de manobra do acessório submarino, o que é feito através de comandos digitados em um microcomputador ou terminal conectado ao mesmo por um cabo eletromecânico.

A Unidade de Fundo possui os seguintes componentes:

- um Atuador Elétrico (ATUADOR) que é responsável pela execução do trabalho mecânico de atuação do acessório;
- um conjunto de baterias, que fornece energia a todo o conjunto;
- uma unidade eletrônica inteligente com um Processador Digital de Sinais (DSP), o Modem Hidroacústico (MODEM), que realiza o controle da Unidade de Fundo, leitura de variáveis do Atuador e comunicação com a Unidade de Topo.

Normalmente este equipamento está em um estado de baixo consumo de energia ("dormindo"), com a maior parte de seus circuitos desligados, mantendo alimentadas somente as Placas do Receptor, do Filtro e do Sequenciador que contém os circuitos de 'wake-up'. Este módulo, ao receber determinados sinais tonais emitidos pelo outro equipamento energiza o restante do SISTEMA colocando o FUNDO pronto para receber comandos. Após receber o sinal de *wake-up* (um sinal de frequência e duração específicos para aquela Unidade de Fundo) o FUNDO está pronto para receber códigos de endereço da unidade que são checados durante o processo de inicialização. Caso esta checagem seja positiva, o Modem de Fundo transmite um código de prontidão para o equipamento que fez a chamada e fica aguardando por comandos ("acordado"). Caso contrário, desliga-se novamente (volta a "dormir" sem emitir qualquer ruído).

Convém notar que uma instalação pode envolver várias Unidades de Fundo e apenas uma Unidade de Topo, que pode cobrir uma área de vários quilômetros quadrados, respeitando-se a condição protocolar de que apenas uma Unidade de Fundo esteja comunicando em determinado instante. Por este motivo o SISTEMA foi projetado para ter vários canais de frequência de operação sendo que cada canal endereça até 255 equipamentos, de modo que a gama de equipamentos que podem ser controlados é bastante grande. É necessário também ter-se uma documentação consistente sobre os equipamentos instalados para não haver equívocos com relação às frequências de *wake-up*, códigos de ativação e acessório submarino instalado em cada Unidade de Fundo. Caso o FUNDO permaneça sem utilização por um minuto ele se auto-desliga, afim de preservar as baterias.

A Unidade de Topo é bem semelhante à de fundo no que diz respeito aos circuitos de transmissão e recepção, não dispondo obviamente dos circuitos pertinentes ao controle e monitoração do ATUADOR e de *wake-up*. Adicionalmente conta com uma interface RS-485 para comunicação de dados com o microcomputador ou terminal do operador. Como o TOPO não necessita de grande autonomia e pode ser recarregada periodicamente na superfície, é alimentada por baterias de chumbo-ácido, que podem ser recarregadas sem desmonte, bastando apenas conectar-se o cabo de carga no mesmo conector que suporta o cabo do terminal.

Ambas as unidades dispõem de circuitos de monitoração interna, que permitem informar ao operador a medida das voltagens das baterias e da temperatura interna do equipamento. A Unidade de Fundo conta também com uma unidade de memória não volátil do tipo flash que funciona como uma "caixa preta" que armazena informações de todos os eventos da vida útil do SISTEMA, com detalhes das manobras realizadas e condições internas do equipamento, que podem ser lidas quando o equipamento de FUNDO for içado para a superfície.

A Figura 1 mostra a operação de um sistema instalado, com enfoque nos seguintes componentes principais:

- A** – Transdutor Hidroacústico
- B** - Circuitos eletrônicos
- C** - Baterias

- D - Cabo
- E - Ondas acústicas
- F - Guincho
- G - Atuador elétrico e acoplamento
- H - Acessório Submarino

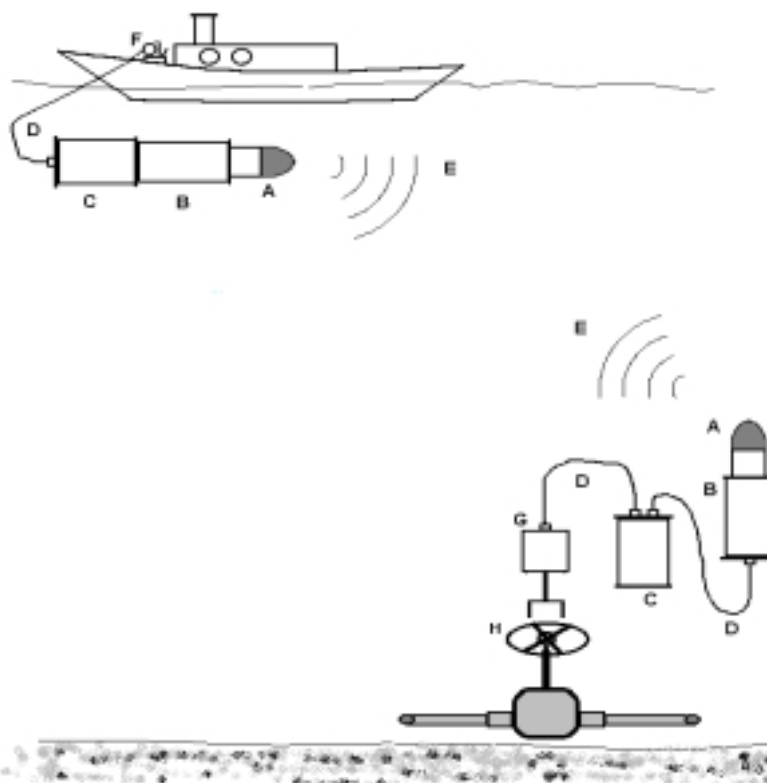


Figura 1. Visão Geral do SISTEMA.

O transdutor hidroacústico é o componente responsável por converter energia elétrica em acústica e vice-versa. Fica montado externamente ao modem, em contato com a água. O atuador elétrico é o componente que realiza o trabalho mecânico de manobra do acessório. Consiste em um motor elétrico, uma caixa de redução com engrenagens, um codificador de posição de eixo, tudo abrigado em um vaso estanque para operação a até 1000 metros de profundidade. Dispõe também de um dispositivo de acoplamento que permite um engate fácil ao acessório submarino sem impedir a operação do acessório pela maneira tradicional na eventualidade de uma pane. Conecta-se ao vaso que abriga os circuitos eletrônicos, de características semelhantes, por uma mangueira submarina cheia de silicone líquido, (compensada) por onde passam os cabos elétrico apropriados.

Na Unidade de Fundo são montadas em um vaso separado para esta finalidade, enquanto na unidade de topo são montadas em um vaso geminado ao vaso da eletrônica, para evitar-se cabos, problemáticos em um equipamento que precisa ser lançado à água e recolhido várias vezes durante sua vida útil. O guincho é utilizado para tracionar a Unidade de Topo, através de um cabo eletromecânico de 500 metros, o que permite a operação da unidade de topo na profundidade adequada a uma comunicação confiável com a Unidade de Fundo.

3. A Comunicação Hidroacústica – Modulação FSK

Para atingir-se o nível de qualidade de comunicação exigida para tarefas de telecontrole e telemetria é utilizada a comunicação digital entre as unidades, o que se dá por meio de modulação por deslocamento de frequências (FSK) de ondas acústicas no extremo superior da banda de audição humana daí chamarmos os equipamentos de modems acústicos.

São usadas duas frequências distintas; uma para o bit 0 (11.500 kHz) e outra para o bit 1 (12.500 kHz). As frequências foram escolhidas levando-se em conta detalhes como características de propagação, banda passante dos transdutores disponíveis e detalhes matemáticos do algoritmo de detecção de frequências usado no DSP. Os transmissores operam com potência de até 1KW. É utilizado um período de silêncio entre os bits, para minimizar problemas com reflexões (ecos), relativamente grande no ambiente submarino, de modo que a potência média de operação do transmissor é de apenas 80W.

4. Software do SISTEMA

4.1. Software Básico

O software básico do SISTEMA foi totalmente desenvolvido em Linguagem Assembly para a família DSP 56300 da Motorola Inc. Toda a documentação, assembladores, linkers foram adquiridos juntamente com o módulo de avaliação DSP56303EVM, parte principal deste projeto.

O software da Unidade de Fundo implementa um modem FSK, um interpretador de comandos, um controlador de atuador eletro-mecânico e um conversor Analógico-Digital multicanais. Esse arranjo permite que a unidade receba comandos de um operador de superfície e efetue a manobra de uma válvula submarina, reportando posteriormente ao operador informações pertinentes à manobra, tais como consumo total de corrente elétrica, tempo da manobra e etc.

O software da Unidade de Topo, bem mais simples que o da Unidade de Fundo, implementa um modem FSK e uma interface do tipo terminal com o operador. Esse arranjo permite a um operador de superfície, possivelmente em um barco ou plataforma enviar comandos operacionais para uma unidade submersa remota, e monitorar a realização das operações requisitadas através do recebimento de mensagens transmitidas pela unidade remota.

Para a conversão dos sinais acústicos entre os domínios analógicos e digital é utilizado um chip CODEC CS4218 da Crystal Semiconductors, e para lidar com a pesada tarefa de processamento digital de sinal é utilizado um DSP (Digital Signal Processor) 56303 da Motorola Inc. como unidade central de processamento.

Devido à necessidade da monitoração e análise constante de um sinal analógico em conjunto com a execução de um grupo de tarefas suportes ou auxiliares foi utilizada a abordagem de um sistema multitarefa colaborativa, onde o gerente de tarefa é parte integrante do analisador de sinais, e um mecanismo de interrupção por hardware para lidar com os eventos assíncronos externos ao programa, tais como a interface com o operador.

4.2. Software Aplicativo de Operação

Foram implementadas durante o desenvolvimento duas interfaces homem-máquina para operação do SISTEMA: a primeira foi implementada no próprio equipamento, não necessitando de instalação de arquivos ou computadores previamente preparados, bastando apenas ter-se um terminal com interface RS232 compatível. A desvantagem da operação por este meio é a pobreza visual o que acarretaria na necessidade de se fazer um treinamento mais elaborado do operador; a segunda interface foi desenvolvida em linguagem visual para Windows (ver a sua tela principal mostrada na Figura 2), o que torna a operação mais fácil, tanto no envio de comandos quanto na resposta do SISTEMA para o operador. A desvantagem desta interface é que se torna necessário ter-se um computador preparado com o Windows, discos de instalação, coisas que nem sempre estão disponíveis numa plataforma.

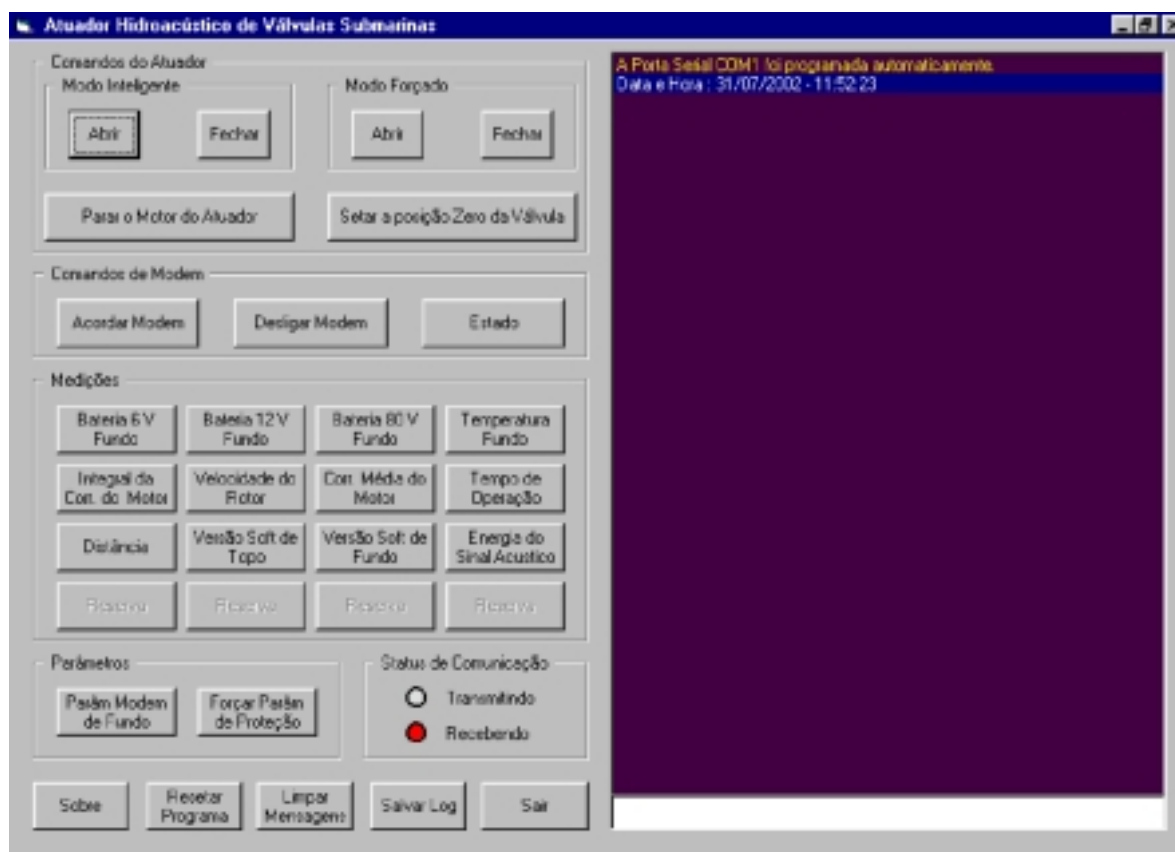


Figura 2. Tela principal do software de operação do SISTEMA (MHASW).

Como exemplo prático da diferença entre as duas interfaces podemos dizer que na interface tipo terminal o operador deve digitar a letra “A” para abrir a válvula, recebendo um caractere “a”, que, consultando uma tabela que acompanha o manual do equipamento, o operador sabe que este status significa que o FUNDO recebeu o comando. Na plataforma visual ele deve clicar na caixa “Abrir Válvula” e verificar na caixa de respostas a mensagem “Comando recebido com sucesso !”.

O programa aplicativo para operação do SISTEMA Hidroacústico de Controle de Válvulas Submarinas (MHASW) foi criado com o objetivo de oferecer uma interface mais amigável entre o operador e o SISTEMA. Esta interface possibilita maior facilidade de operação tanto na emissão de comandos como na análise dos seus resultados.

Os comandos são enviados pela porta serial ao Modem Hidroacústico de Topo que codifica e envia a informação acusticamente ao equipamento de Fundo. A partir daí, no fundo, o comando é decodificado, interpretado e executado. Os resultados da execução dos comandos são codificados e reenviados acusticamente ao Topo que decodifica a informação e envia pela porta serial ao MHASW. A interpretação dos resultados é feita automaticamente e apresentada em uma janela de mensagens.

Todas as ocorrências da sessão são mantidas na janela de mensagens e podem ser gravadas em arquivo texto para registro, auditoria ou posterior análise.

5. Testes Realizados

Durante o desenvolvimento do projeto foram realizados vários testes experimentais com os protótipos: testes laboratoriais de bancada período em que foram provados os circuitos eletrônicos de detecção e envio de comandos e em que foi desenvolvido o protocolo de comunicação entre as unidades de Topo e de Fundo. Para estes testes foi desenvolvido um simulador de atuador elétrico, microprocessado, que aumentou em muito a velocidade de desenvolvimento.

Em seguida foram feitos testes submersos em pequenas distâncias, ou seja, foi usado um tanque de água para comprovar a comunicação neste meio. Durante estes testes foram realizados alguns ajustes de temporização e sentiu-se a necessidade de parametrização remota do equipamento de Fundo, o que foi em seguida implementado.

Para verificar o funcionamento completo do sistema em condições hiperbáricas, realizamos um conjunto de testes na nova Câmara Hiperbárica da **Tecnologia Submarina - CENPES**. O teste foi realizado à temperatura ambiente e pressão de 1500 psi, o equivalente a 1000 metros de profundidade.

Para servir de carga mecânica para o atuador, usamos um dispositivo de freio a guisa de acessório submarino, como um simulador de válvula. O dispositivo foi projetado e construído pelo pessoal do CENPES e permite regulagem do torque de operação e dispõe de batentes de fim de curso. Os transdutores foram apontados em direções opostas e afastados o máximo possível, criando uma condição mais adversa possível, enclausurando os modems dentro de um espaço acusticamente muito reflexivo e pequeno.

Durante os testes conseguimos acordar a unidade de fundo em todas as tentativas. Medimos temperatura e tensões de bateria da mesma. Configuramos os parâmetros de operação do Atuador, tais como limites finais, corrente máxima permitível, velocidade mínima aceitável. O sistema de TV da Câmara Hiperbárica permitia-nos observar o movimento do eixo do Atuador (que foi pintado de amarelo e preto para tornar mais visível).

Na foto da Figura 3 vemos o SISTEMA completo instalado na nova Câmara Hiperbárica do **CENPES**, recebendo as verificações finais antes da pressurização. O cilindro sobre a mesa é o vaso de eletrônica da Unidade de Fundo. Alinhado ao mesmo, mais ao fundo e de costas vê-se a Unidade de Topo, abrigada em um único vaso, com o cabo do terminal. O cilindro em pé no primeiro plano é o atuador montado no dispositivo simulador de válvula. Em segundo plano está o vaso de baterias da Unidade de Fundo.

Após a sua despressurização e esvaziamento, a Câmara foi aberta por sua tampa principal e o carrinho de carga foi retirado. Após a sua retirada, todo o conjunto foi seco, foi realizada a seqüência de desmonte de cabos e as Unidades de Fundo e de Topo foram levadas para o laboratório eletrônico. No dia seguinte foi constatado que não houve vazamento em nenhum dos vasos, e que ambas as unidades continuavam a funcionar perfeitamente.

Para verificar a atuação do wake-up e confiabilidade da comunicação a distância em ambiente ruidoso, foi realizado um testes com um par de modems no TBIG (Terminal da Baía da Ilha Grande). O teste foi muito proveitoso, pois foi observada a comunicação em água rasa, muito próximo à uma costa rochosa (condição muito desfavorável para o funcionamento do SISTEMA) e a diversos objetos grandes como navios petroleiros, rebocadores e as colunas do píer do terminal. Havia também muito ruído da operação de bombeamento de descarga dos petroleiros. Foi também a primeira vez que as unidades completamente montadas foram submetidas ao estresse de transporte e lançamento no mar. Iniciamos então uma série de testes, onde a unidade remota era acordada, eram feitas algumas leituras e em seguida aguardava-se o auto-desligamento. Repetiu-se este procedimento com o barco em movimento e em vários lugares e distâncias diferentes, com ótimos resultados.

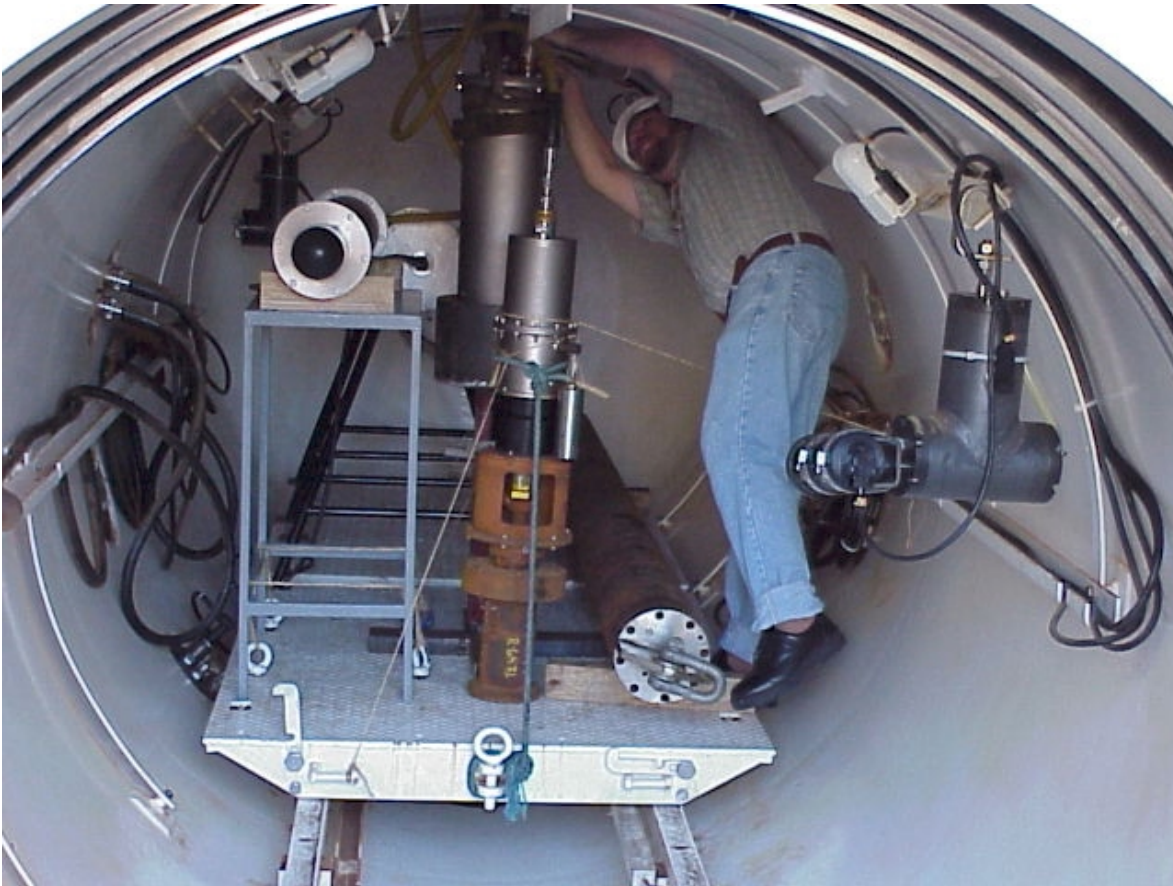


Figura 3. Testes realizados na Câmara Hiperbárica do CENPES – PETROBRÁS.

6. Novas Possibilidades de Aplicações do SISTEMA

A TRANSCONTROL continua dando seqüência no desenvolvimento deste SISTEMA por crer que a comunicação hidroacústica consegue reduzir custos de instalação e operação. Este pode ser usado para monitoração de pressão e temperatura de Manifolds e Árvores de Natal Molhadas, monitoração de vazamentos bem como outras aplicações que substituam meios de comunicação dispendiosos como cabos e umbilicais por, simplesmente, água.