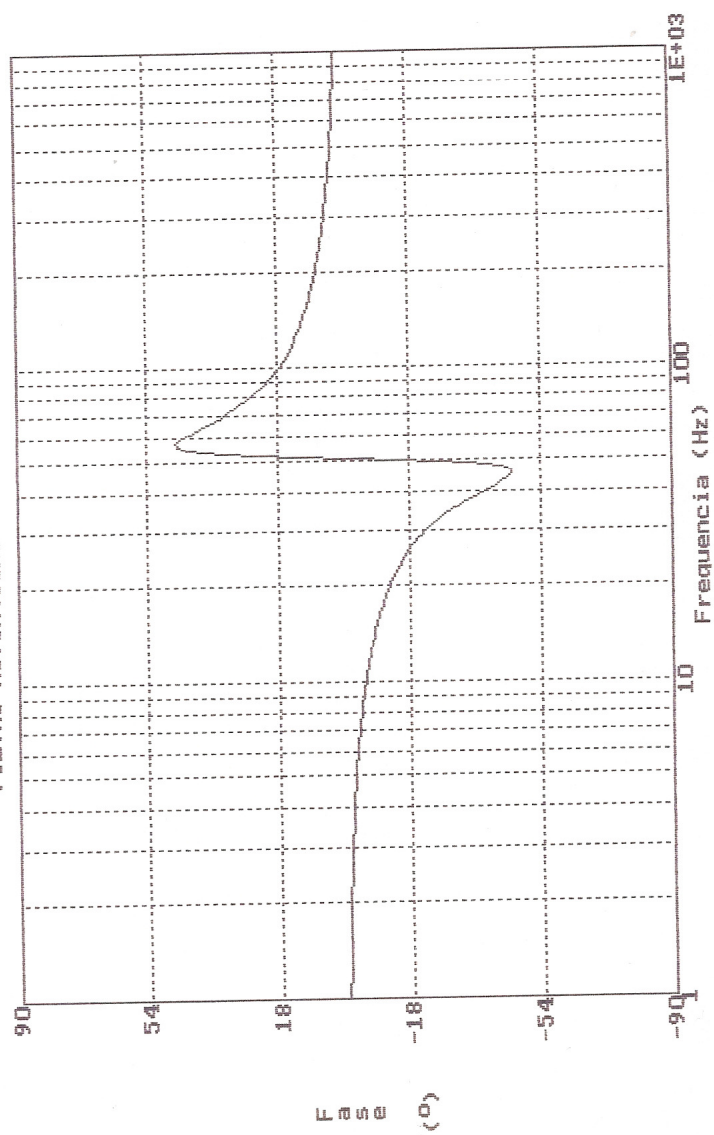
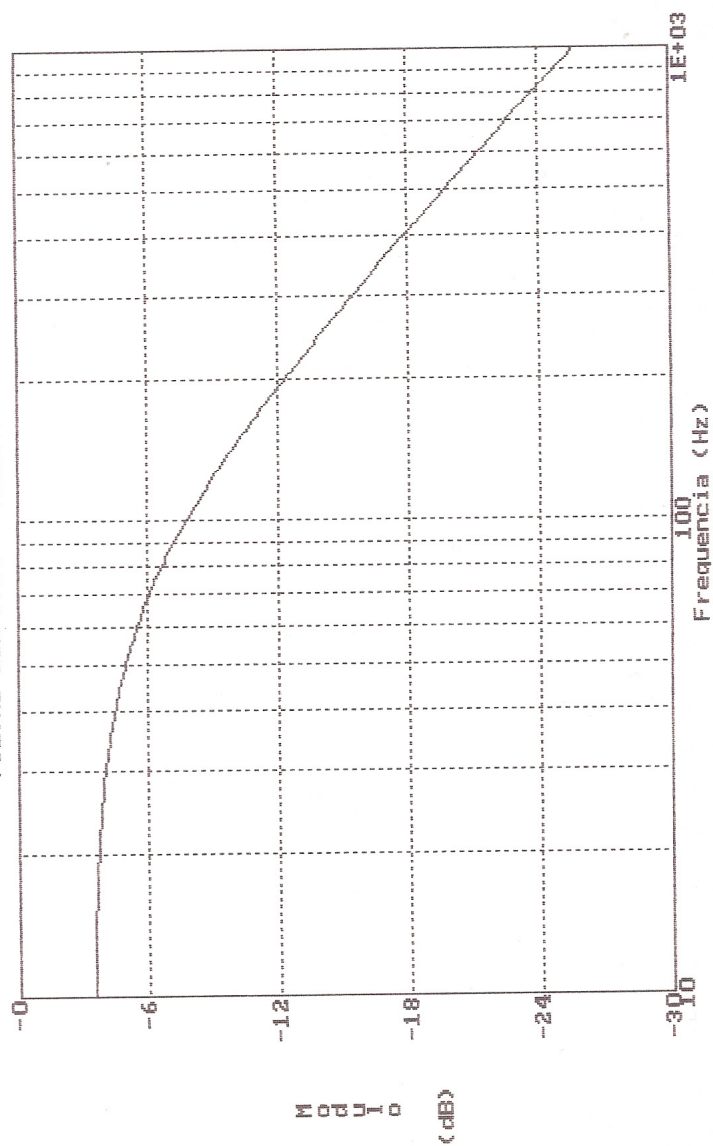


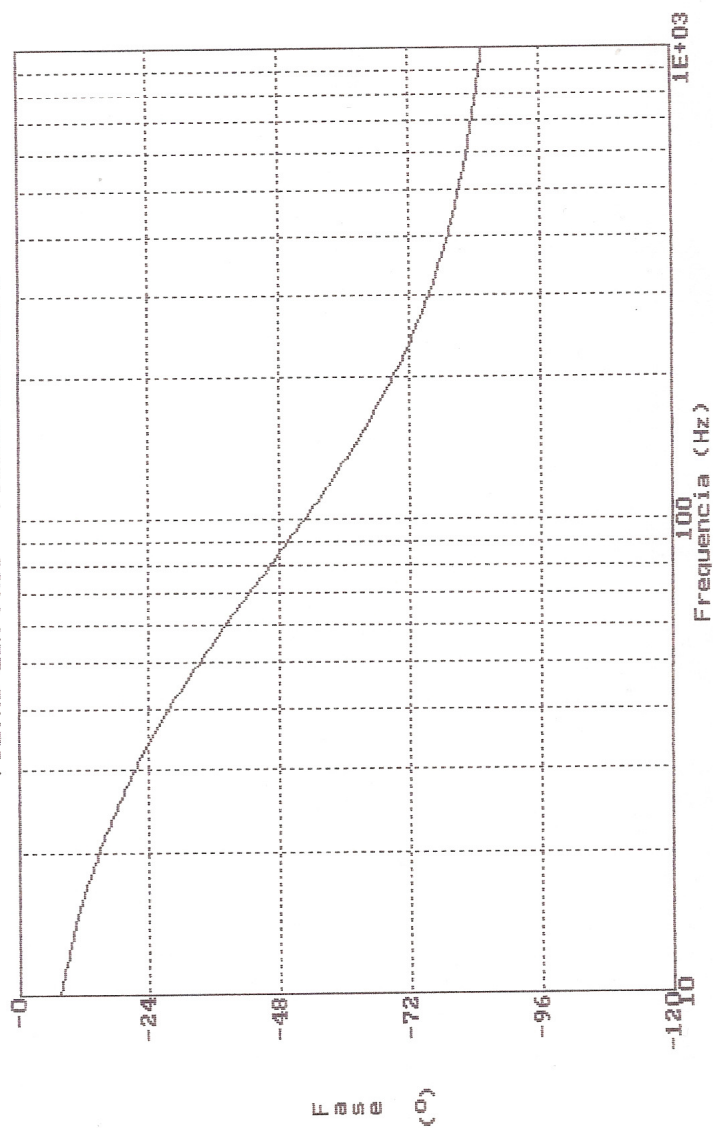
FILTRO NOTCH(50HZ)-FIGURA 2.2.4.5/b



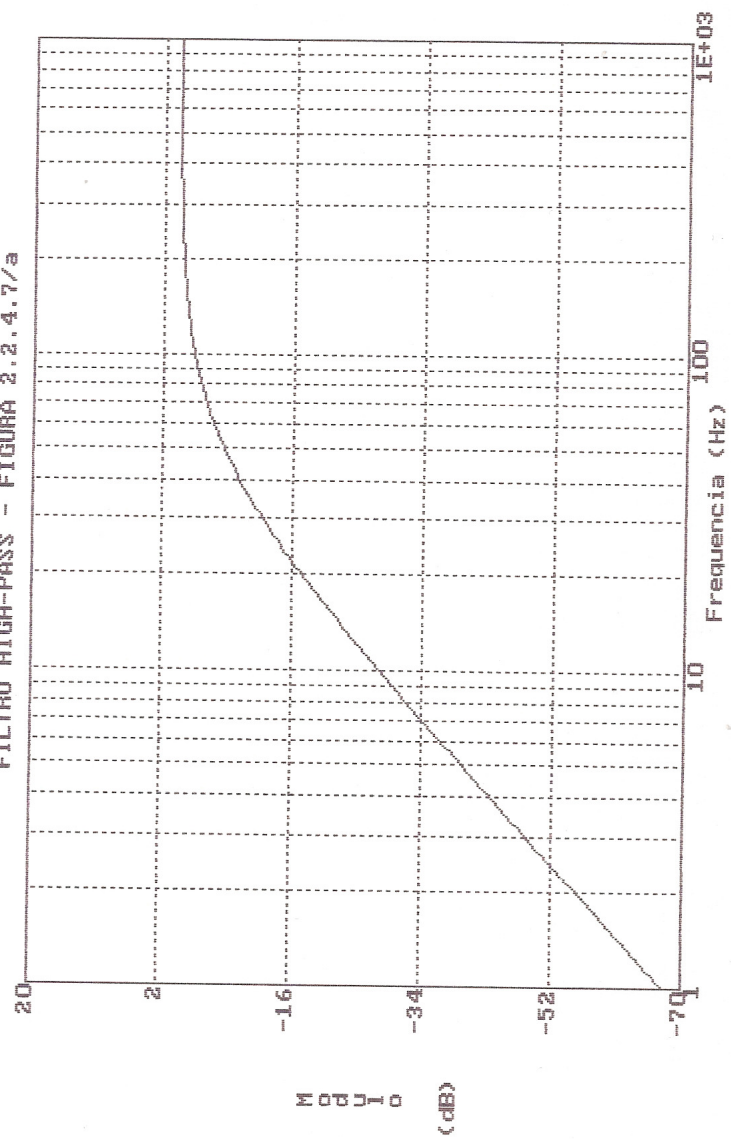
FILTRO LOW-PASS - FIGURA 2.2.4.6/a



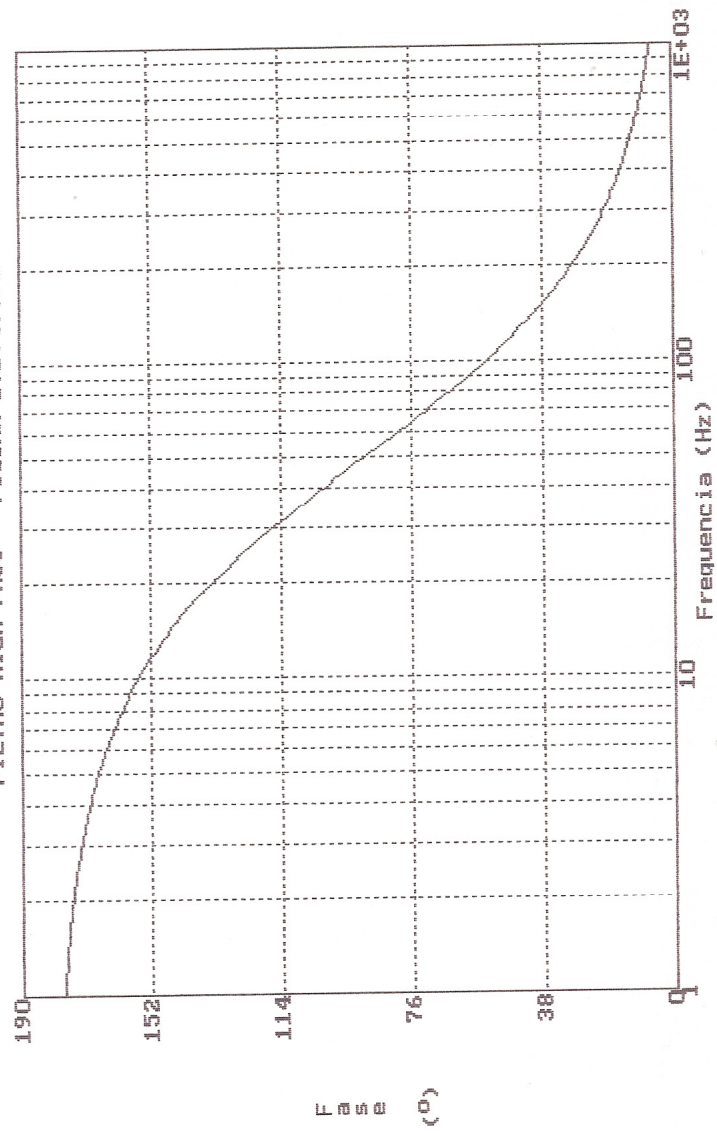
FILTRO LOW-PASS - FIGURA 2.2.4.6/b

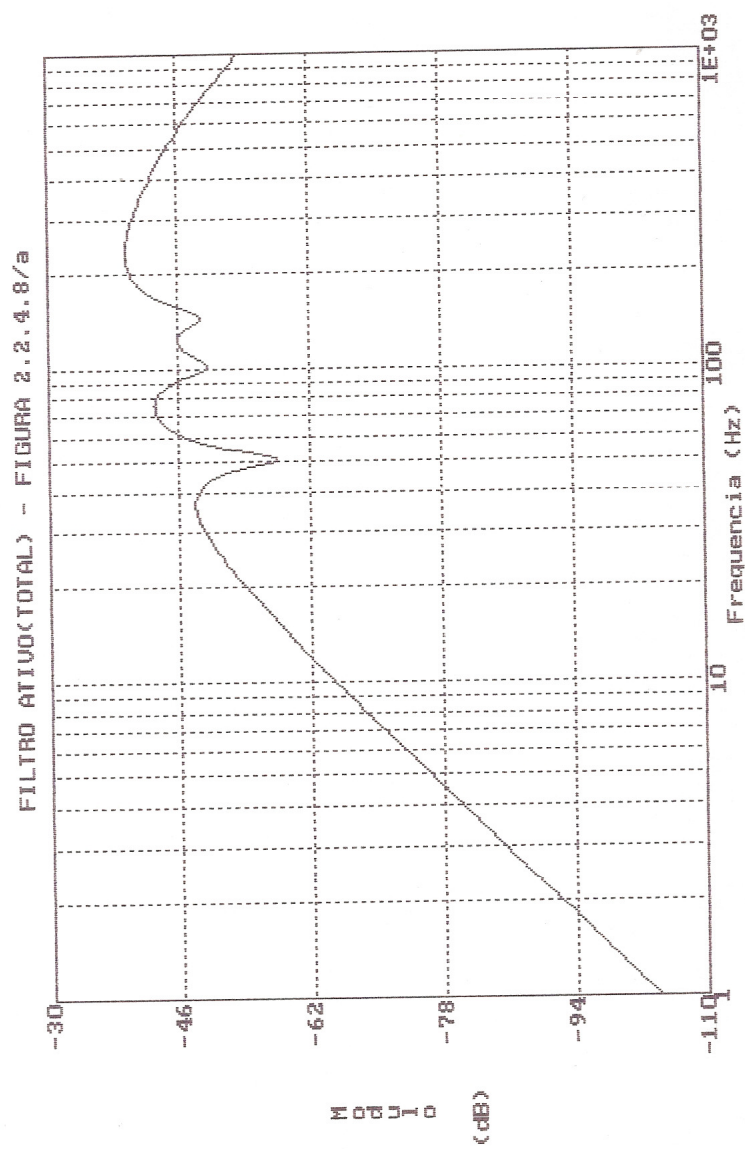


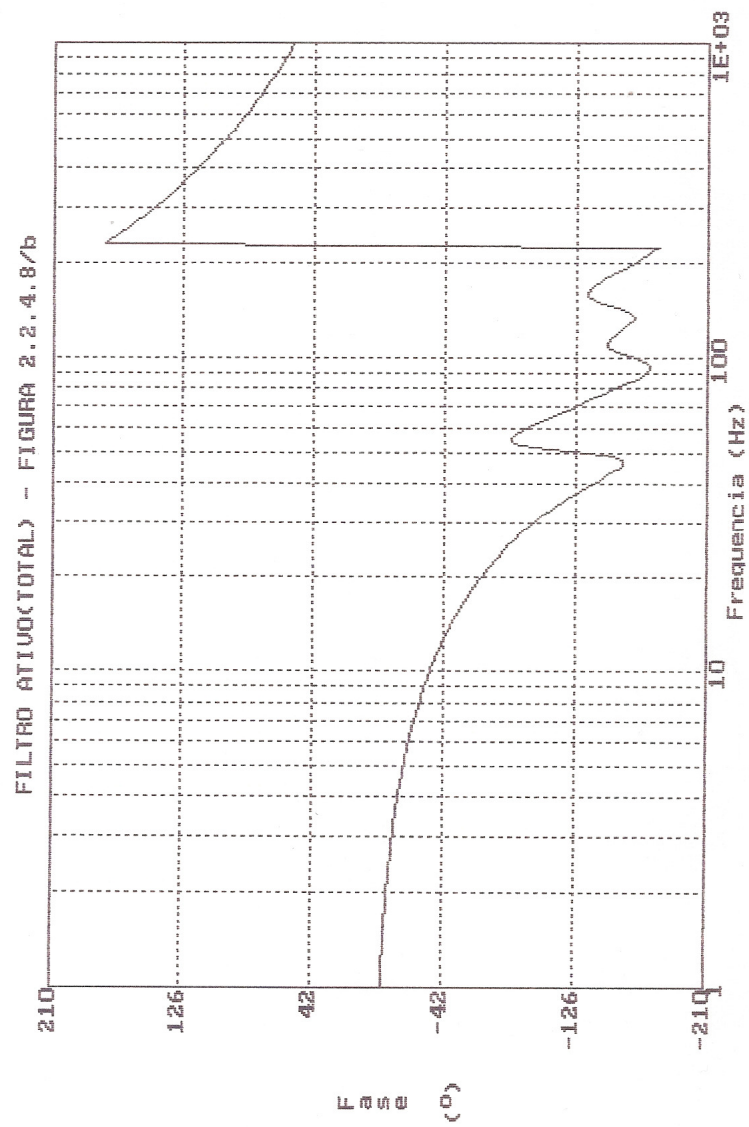
FILTRO HIGH-PASS - FIGURA 2.2.4.7/a



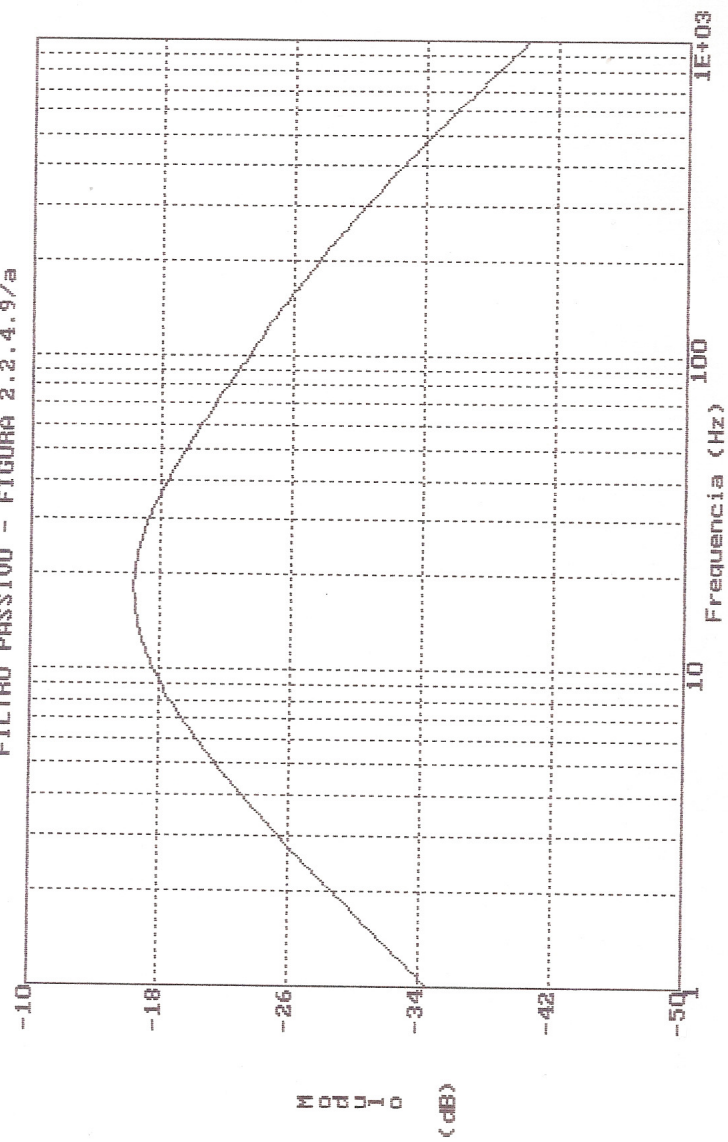
FILTRO HIGH-PASS - FIGURA 2.2.4.7/b



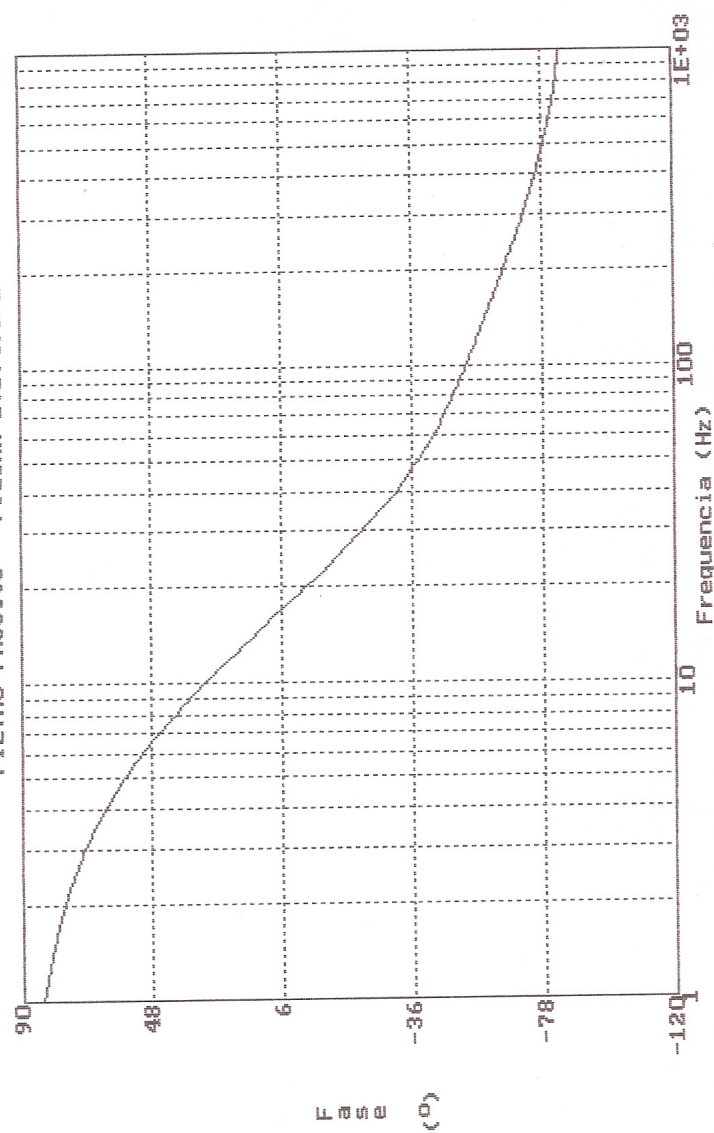




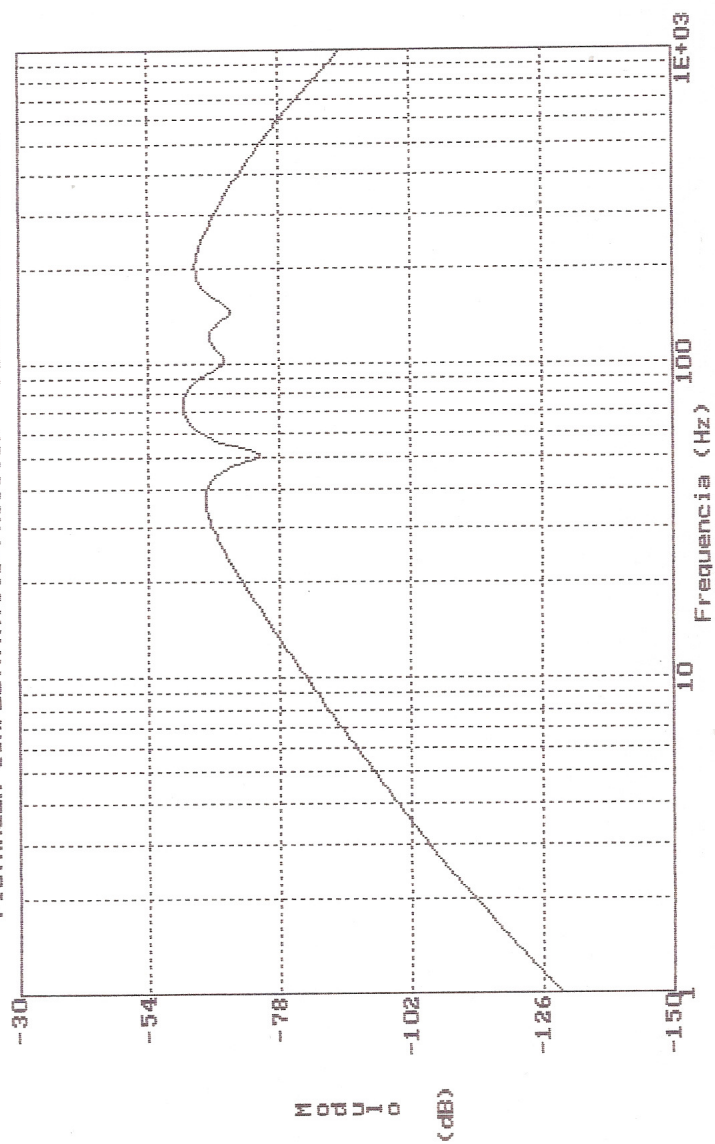
FILTRO PASSIVO - FIGURA 2.2.4.9/a

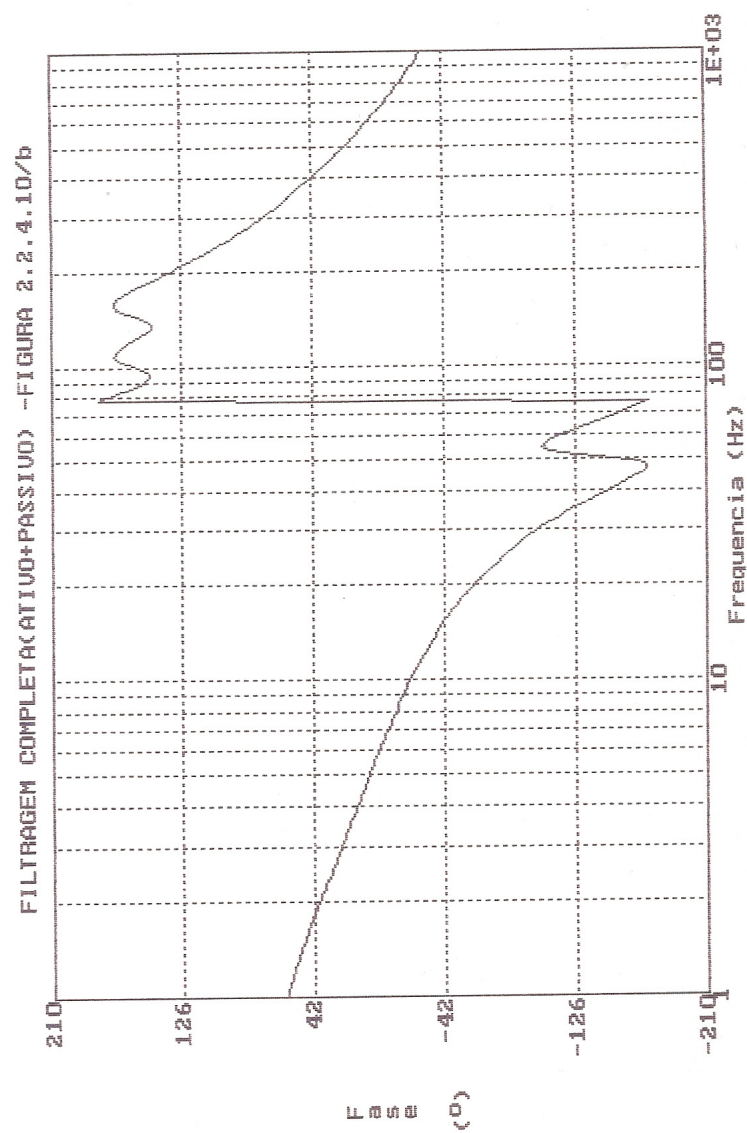


FILTRO PASSIVO - FIGURA 2.2.4.9/b



FILTRAGEM COMPLETA(ATIVU+PASSIVU) - FIGURA 2.2.4.10/a





2.2.5 - Aspectos de Simulação.

O esquema de proteção utilizado por Furnas foi testado durante a fase de projeto no simulador da ABB-Relays na Suécia. O simulador utilizado permitiu a modelagem de linhas através de parâmetros distribuídos com os diversos equipamentos do sistema modelados através de circuitos eletrônicos, interligados por chaves eletrônicas por computador o que permite rápidas mudanças de configuração da rede (vide figura 2.2.5.1). O teste de modelo visou comprovar que o esquema de proteção adotado teria um desempenho adequado quando submetido aos diversos fenômenos elétricos que ocorrem no sistema de transmissão de Itaipu em 750 kV.

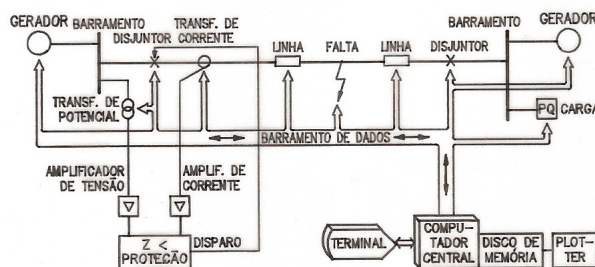
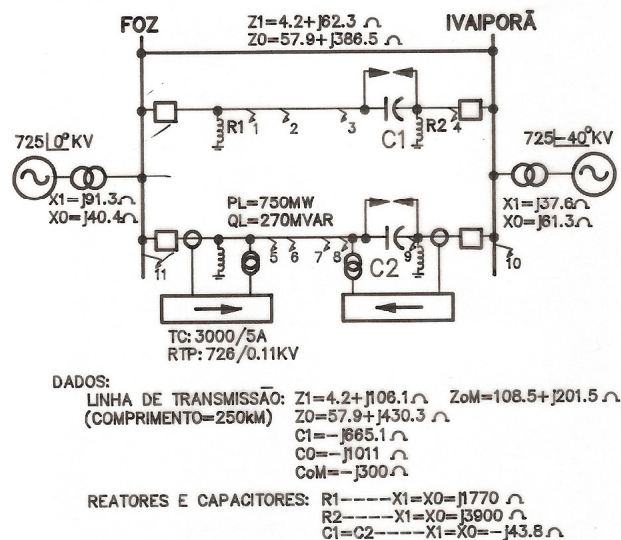


FIGURA 2.2.5.1

A partir de estudos digitais, escolheu-se o trecho de linha que apresentava o maior número de fenômenos elétricos capazes de interferir no princípio de medição da proteção. Para tanto foram avaliadas as condições de curto-circuito máximo e mínimo possíveis no sistema, o comportamento das correntes de sequência zero, a análise de perfis de tensão, forma/tempo de propagação das ondas trafegantes e verificação dos disparos dos centelhadores dos capacitores série nas linhas paralelas. Através da figura 2.2.5.2 simulou-se o trecho entre as subestações de Foz e Ivaiporã com representação de duas linhas paralelas com compensação e acoplamento mútuo, e a terceira linha não acoplada. O restante do sistema foi reduzido a equivalentes e fontes. Inicialmente processaram-se testes de verificação do modelo, os quais foram comparados com resultados dos estudos digitais previamente executados tais como: níveis de corrente e tensão, verificação da impedância da linha em função da frequência e outros.



Foram feitos testes de curto 10-T, 20-T, 20 e 30 em diversos pontos internos e externos, com ângulos de incidência de 10° , 60° , 90° e 150° graus respectivamente, além chaveamentos através de manobras dos Capacitores Série, Oscilação de Potência e Perda de Sincronismo. Para as condições citadas, a proteção teve um desempenho satisfatório com os seguintes pontos a destacar:

- Para faltas próximas a um terminal aberto, dependendo do ângulo de incidência, estas não são detectadas devido a pequena variação de tensão. Entretanto estas ocorrências são detectadas e eliminadas pelas unidades de distância em 2. zona da proteção.

- Para curtos trifásicos externos próximos aos Capacitores Série, ocorre a reversão de tensão. Caso a falta não seja eliminada antes do tempo de atuação das unidades de distância, poderá haver atuação indevida destas unidades. Considerando-se que são utilizadas duas proteções redundantes, a probabilidade de operação errônea descrita acima somente é considerada com a ocorrência de falha de disjuntor, o que indica a necessidade de coordenação das unidades de distância com as mesmas.

O modelo citado acima atendeu portanto às solicitações de Furnas. Entretanto, por suas características conservativas, Furnas decidiu estender os testes utilizando o simulador TNA do Cepel pelo período de um (01) ano, onde foram testados o desempenho das proteções para todos os trechos Foz-Ivaiporã-Itaberá-T. Prêto, com condições limites de máxima e mínima impedância de fonte para cada trecho.

Foram monitorados sinais internos (TDN, BDN, TDD e BDD) que possibilitaram analisar os níveis de disparo e bloqueio de cada unidade, NCN (unidade de neutro controlada) e DM (modo dependente) das proteções. Através da monitoração destes pontos, ao deslocar-se o ponto de curto-circuito pela linha e variar-se também o seu ângulo de incidência, foi possível detectar-se situações mais críticas de operação para cada configuração do sistema. Verificou-se que para alguns curtos do tipo 10-T e 20-T externos a proteção atuava indevidamente o que levou-se a alteração de alguns níveis de comparação internos da proteção.

Além disso ainda para curtos externos observou-se necessidade de se manter o ajuste das unidades NCM e DM com uma diferença mínima do dobro. Para algumas configurações foi necessário desensibilizar a unidade de supervisão de 3Io que trabalha juntamente com a unidade NCM. Estes procedimentos solucionaram todos os casos de instabilidade para curtos externos.

Para curtos internos foram localizadas algumas regiões que para um número muito limitado de ângulo de incidência da falta tipo 10-T e 20 internas, a unidade de ondas de hum (01) dos terminais, bloqueava indevidamente, por não obter nível suficiente de sinal de disparo. Esta situação entretanto não se mostrou crítica, pois além da faixa de ângulo ser pequena, a probabilidade deste tipo de ocorrência é muito remota. Considera-se ainda o fato de que para estas situações houve a atuação correta das unidades de distância Back-up da proteção.

De AGO/89 até MAR/91 ocorreram 25 operações da proteção

em pauta, com desligamento de linha, sendo que destas, 21 foram corretas, 03 incorretas devido a erros de fiação e 01 incorreta devida a subtensão, problemas estes corrigidos com o acerto da fiação e modificação do esquema de fechamento sobre falta.

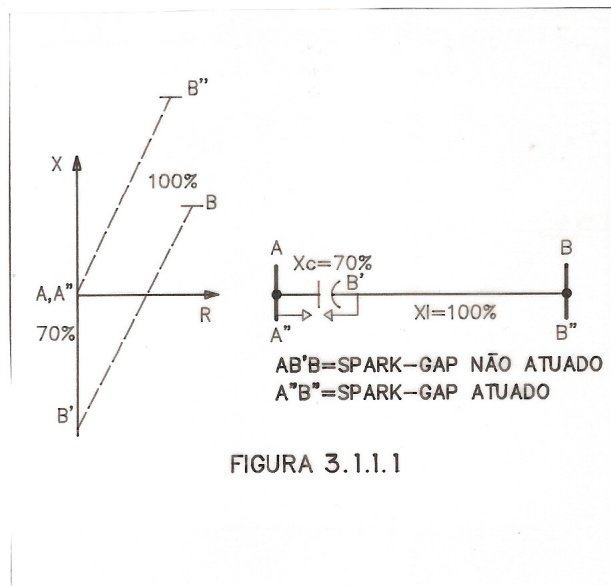
3 - Esquemas de Proteção em Linhas Compensadas.

3.1 - Relés de Distância

3.1.1 - A Natureza do Problema

Em redes sem compensação as correntes de defeito são de natureza indutiva para ambos os terminais da linha. Com a compensação a natureza indutiva do defeito na rede é substancialmente alterada. O grau da mudança é dependente dos parâmetros da rede, do grau de compensação, do tipo e da localização do defeito. A natureza capacitiva da corrente de defeito pode provocar falha ou má operação dos sistemas de proteção não só na linha em questão como nas linhas adjacentes.

Os Bancos de Capacitores série são normalmente equipados com SPARK-GAP's que "by-passam" os mesmos, sendo projetados para atuar com uma tensão de 2 a 3 vezes a tensão nominal do Banco. Quando o SPARK-GAP atua a condição de natureza indutiva citada anteriormente é restabelecida na rede, porém esta alteração não é feita simultaneamente gerando condições de variação de impedância transitória que pode causar problemas operativos nos sistemas de proteção. Através da fig. 3.1.1.1, pode-se verificar a variação no diagrama de impedâncias R-X devida a inserção da compensação.

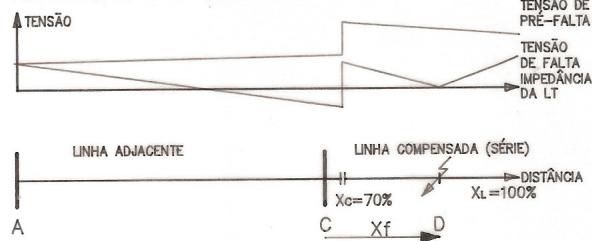


A reatância negativa indicada na fig. 3.1.1.1 pode causar portanto duas condições operativas a saber:

- corrente reversa.
- tensão reversa.

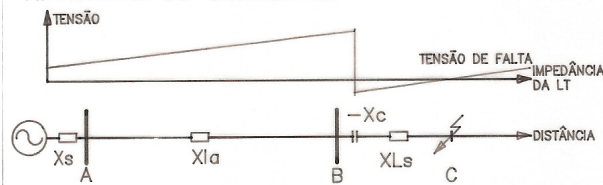
A tensão reversa ocorre se reatância negativa do Banco de Capacitores é maior do que a impedância positiva medida entre o terminal e a localização do defeito. A corrente reversa ocorre se a respectiva reatância negativa é maior que a reatância total medida não só entre o terminal e o defeito mas incluindo também a respectiva impedância de fonte. Estas duas condições operativas da rede podem ser visualizadas através da fig. 3.1.1.2 a seguir:

REVERSÃO DE TENSÃO:



CONDIÇÃO: $X_c > X_f$

REVERSÃO DE CORRENTE:

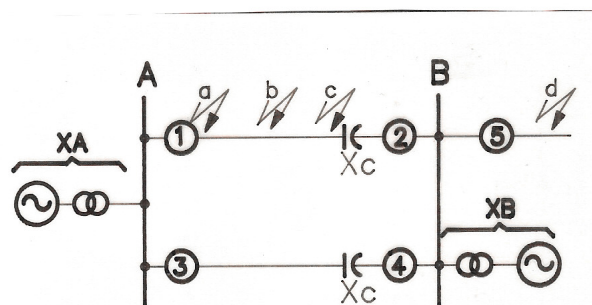


CONDIÇÃO: $X_c > X_s + X_{la} + X_{Ls}$

FIGURA 3.1.1.2

3.1.2 - Tensões e Correntes nas Condições de Curto-Circuito

Em complemento a fig. 3.1.1.2 pode-se analisar para a rede da fig. 3.1.2.1 os respectivos diagramas vetoriais para os diversos locais de defeito indicados;



DADOS DO SISTEMA:

X_L = REATÂNCIA INDUTIVA DA LINHA

$X_C = 0,8 \times X_L$

$X_B = 2 \times X_L$

$X_A = 0,75 \times X_L$

1,2,3,4,5 = RELÉS DE DISTÂNCIA

FIGURA 3.1.2.1

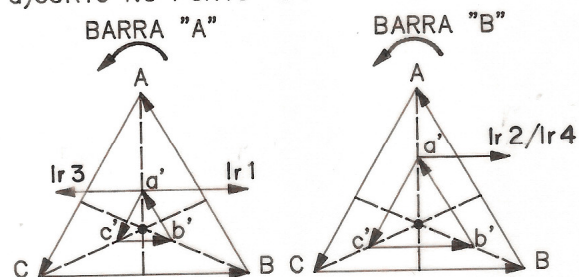
OBS: Na análise vetorial a seguir considera-se a não operação dos respectivos SPARK-GAP's, e o curto é do tipo trifásico, onde será indicado por simplicidade somente as correntes na fase R (figura 3.1.2.2).

onde: A,B,C = tensões de pré-falta

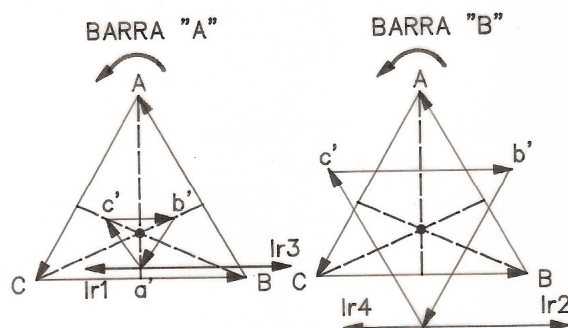
a',b',c' = tensão de pós-falta

I_{a1} , I_{a2} , I_{a3} , I_{a4} e I_{a5} = corrente de falta nos relés 1,2,3,4 e 5.

a) CURTO NO PONTO "a":



b) CURTO NO PONTO "b":



c) CURTO NO PONTO "c":

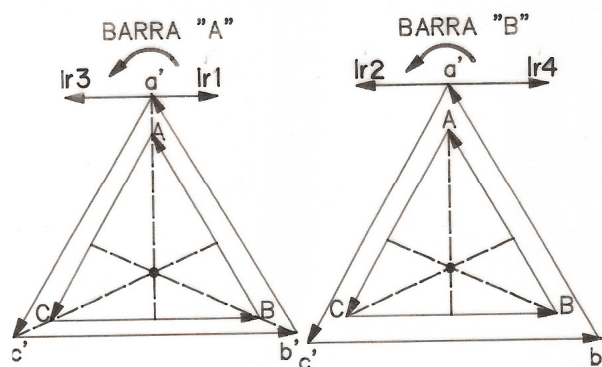


FIGURA 3.1.2.2