

MAGNETISMO RESIDUAL E CORRENTES DE EIXO EM EQUIPAMENTOS ROTATIVOS NÃO ELÉTRICOS

José Antônio Prado Valladares¹
Wiriton Silva de Matos²

¹ Físico Consultor , Não Sócio, Físico, Tecvib Engenharia Ltda

² Sócio Gerente, Sócio, Engenheiro Mecânico, Tecvib Engenharia Ltda, Diretor

RESUMO

Falhas prematuras de componentes de máquinas como mancais radiais e de escora, selagens, acoplamento e engrenagens, são normalmente atribuídas pelo pessoal de manutenção a problemas de origem mecânica ou a ação química como corrosão, contaminação do óleo, sobrecargas, abrasão, deficiência de lubrificação, etc., quando em alguns casos são resultado da ação de correntes geradas por magnetismo residual presente nos componentes rotativos ou estacionários da máquina.

Neste trabalho apresentamos uma descrição do mecanismo de geração destas correntes de eixo, sua contribuição para a redução da vida útil dos componentes do equipamento , métodos de controle de magnetismo residual e aterramento/monitoração das correntes de eixo, de acordo com interpretação elaborada por John Sohre e Paul Nippes, fruto de pesquisas desenvolvidas nos últimos quinze anos. Apresentamos também um caso real de falha associado a magnetismo residual presente em um compressor centrífugo, bem como as medidas corretivas adotadas.

1. DESCRIÇÃO DA AUTO-EXCITAÇÃO E CORRENTES DE EIXO EM EQUIPAMENTOS ROTATIVOS NÃO ELÉTRICOS PROVOCADO PELA PRESENÇA DE MAGNETISMO RESIDUAL , SUAS CAUSAS E CONTROLE.

Correntes electromagnéticas em equipamentos rotativos não elétricos, são geradas devido à presença de campos magnéticos residuais presentes na sua carcaça, nos componentes do seu rotor ou em algum elemento do seu grupo. A existência destes campos residuais se devem ao crescente emprego de dispositivos magnéticos em oficinas como o uso de placa magnética em torno

mecânico, inspeção por partícula magnética sem posterior desmagnetização do componente, solda elétrica, uso de guindaste magnético, etc. Quando um equipamento que apresenta um grau significativo de magnetismo residual começa a girar, tensões elétricas (força eletromotriz induzida) e correntes são geradas. A magnitude dessas tensões e correntes dependem não somente da magnitude do campo residual presente nos diversos componentes do grupo como também da forma como eles se compõem (cancelando ou reforçando), da massa magnetizada, dos circuitos alternativos para as correntes, das propriedades elétricas do filme de óleo presentes nos mancais e selagens, das dimensões dos “gaps” formados entre as superfícies dos diversos componentes e, sobretudo, da velocidade do eixo que determina a taxa de variação do fluxo magnético. Em resumo, as máquinas atuais apresentam as características indispensáveis para a manifestação de problemas decorrentes de magnetismo residual; são máquinas maciças de grande porte operando em alta rotação e com “gaps” críticos^{1-4,6,7}.

Uma questão freqüentemente levantada refere-se à maneira peculiar de como o fenômeno se manifesta. Unidades passam vários anos operando sem demonstrar qualquer problema sério de correntes de eixo (em alguns casos os sintomas são negligenciados e, mesmo assim, a unidade é capaz de continuar operando satisfatoriamente) e repentinamente o problema foge ao controle e ocorre uma quebra catastrófica. Os componentes danificados são substituídos e a unidade volta a operar. Após alguns dias ou semanas de operação uma nova quebra acontece. Este comportamento é característico da manifestação de magnetismo residual em estágio avançado, fenômeno ao qual se atribui o nome de “auto-excitação eletromagnética”. Este fenômeno segue um ritual próprio ou uma seqüência típica. Primeiro, começamos com uma unidade nova apresentando baixíssimos níveis de magnetismo residual. Aos poucos, com paradas para inspeção e consertos, incrementos de magnetismo residual são gradativamente incorporados à unidade devido a uma eventual necessidade de uma solda elétrica ou uso de ferramentas magnetizadas. O magnetismo resultante se tornará cada vez mais alto e correntes curto-circuitadas localizadas serão geradas, acarretando um aumento de temperatura. Teremos também descargas elétricas ocorrendo entre superfícies em contato ou separadas por um pequeno “gap”, provocando a aparição de “pittings” e “frosting”. Apesar destes pequenos danos, a unidade ainda irá operar satisfatoriamente por um bom tempo. Finalmente, o magnetismo residual atinge um ponto crítico onde os campos magnéticos são fortes o suficiente para permitirem uma reorientação conjunta das fontes de magnetismo residual criando uma situação propícia para a ocorrência do fenômeno de auto-excitação. Uma estrutura ferromagnética é constituída de bilhões de pequenos domínios cada qual com um momento magnético associado. Se a estrutura ferromagnética não se encontra magnetizada, os momentos magnéticos dos bilhões de domínios encontram-se distribuídos de forma aleatória exceto nas vizinhanças das fontes de magnetismo residual onde existe uma orientação preferencial. A auto-excitação é disparada pela ocorrência

de algum choque mecânico ou vibração que pode ter origem num “surge” do compressor, num “oil whirl” ou em alguma fricção entre componentes da máquina. Agora a distribuição aleatória dos momentos magnéticos dos bilhões de domínios é perturbada e este sistema volta a acomodar-se alinhando-se com o campo magnético residual, aumentando sua intensidade em várias ordens de grandeza. Paralelamente, as tensões e correntes geradas são bastante elevadas e com o colapso da resistência elétrica do filme de óleo as correntes começam a fluir entre carcaça e rotor formando um curto-circuito interno com a geometria necessária para reforçar os campos magnéticos. Estes por sua vez reforçam as correntes e o processo continua como uma bola de neve até atingir a fase final (alguns dias após o processo de auto-excitação ter sido disparado) com a falha dos mancais de escora, mancais radiais ou selagens (fig.1). O processo de quebra catastrófica pode ser abortado se os sintomas não forem negligenciados e medidas corretivas adotadas. Os possíveis indicadores são:

- Temperatura,
- Indicação de movimento axial,
- Crescimento dos níveis de vibração,
- Aparecimento de frequências estranhas no espectro de vibração,
- Comportamento estranho dos sensores sem contato.

Se foi realizada uma parada da unidade com a finalidade de evitar uma quebra catastrófica, alguns detalhes poderão ser observados nos componentes que comprometeram a continuidade de operação da unidade. Poderá ser percebido a presença, caso os componentes não tenham sido destruídos, de “frosting” ou de “spark tracks”. O “frosting” pode até parecer inofensivo mas quando é verificado a quantidade de metal que foi removido, uma quantidade significativa será encontrada (5 a 10 mils). Muitas vezes ela é mal interpretada como sendo uma erosão e é atribuído ao componente (mancal de escora, mancal radial, selagem, etc) a origem do problema. Uma vez dado um falso diagnóstico, a ação corretiva resume-se em substituir os componentes danificados. Entretanto, transcorrido algum tempo, o mesmo problema voltará a se repetir podendo até mesmo se manifestar em outros locais como no acoplamento ou nas engrenagens do multiplicador. Para agravar a situação e ratificar o falso diagnóstico, se o tempo transcorrido de operação após a parada for significativo, a tendência natural será considerar toda a problemática como, por exemplo, corrosão do mancal por contaminação do óleo por ácido ou um insignificante caso de cavitação por “oil whirl”. Porém quando a unidade entrar novamente em regime de auto-excitação a situação irá fugir do controle e as quebras serão freqüentes com danos generalizados não só no metal patente como também nas superfícies de aço do eixo, dentes do acoplamento, dentes de engrenagens, etc. Em muitos casos será necessário remover sulcos formados em

partes críticas do eixo devido a descargas elétricas que ocorreram entre a carcaça e o rotor⁹.

Todos os tipos de correntes (eletrostáticas ou eletromagnéticas) produzem “frosting” em materiais macios (“babbitt”) onde as descargas elétricas ocorrem. Entretanto, somente as de origem eletromagnética são elevadas o suficiente para produzirem danos de padrões distintos como os “spark tracks”, pontos apresentando queimaduras, pontos de solda nas partes em contato e eletroerosão acompanhada da remoção significativa de material.

A presença de correntes de eixo pode ser detectada e monitorada medindo as tensões elétricas em escovas distribuídas em locais estratégicos ao longo do grupo (fig.2). Esta tensão é então lida através de um equipamento especial dedicado a esta atividade designado de “VCM- Voltage Current Meter”⁸. A medição de tensões em eixos através das tensões de escovas não é uma tarefa simples quanto a princípio parece ser. Muitas vezes não existe tensão detectável; as descargas elétricas ocorrem dentro do equipamento formando curtos-circuitos ou “loops de corrente”. As correntes fluem pelos caminhos que apresentam menor resistência elétrica formando percursos fechados. Desta maneira correntes altíssimas podem fluir sem qualquer detecção de voltagem nas escovas. Existem também os “loops de correntes localizadas”, por exemplo, num mesmo mancal, que as tornam impossíveis de detecção. Se elas não fluírem através de superfícies em contato ou separadas por um pequeno “gap”, nenhum dano será causado à superfície exceto um aumento de temperatura devido à sua dissipação (“eddy-current dissipation”). Infelizmente, diante da situação descrita, baixas tensões em escovas não são garantia da ausência de “loops internos de correntes”. A técnica adotada consiste em selecionar e posicionar as escovas próximas às áreas onde as correntes são geradas e, desta forma, desviá-las através de percursos distantes de componentes críticos como mancal de escora e radial. Sempre alguma melhora é obtida com o emprego de escovas apropriadas⁵.

A única maneira capaz de eliminar correntes de eixo com 100% de garantia se dá através da eliminação de magnetismo residual e em manter a unidade livre de componentes com magnetismo residual que possam vir a contaminá-la. Para tanto, é imprescindível um controle rigoroso sobre o nível de magnetismo residual em componentes novos ou recuperados que venham a substituir componentes danificados, impor restrições ao uso de solda elétrica em torno da unidade e, sobretudo, desmagnetizar a unidade durante sua parada geral.

2. RELATO DE UM CASO DE QUEBRA DE UM COMPRESSOR CENTRÍFUGO ASSOCIADO À PRESENÇA DE MAGNETISMO RESIDUAL.

Em agosto/95 houve uma parada de um grupo moto-compressor multiestágio devido a uma explosão na tubulação de descarga do 2^o estágio. Na primeira tentativa de partida o compressor desarmou por alta vibração e na segunda apresentou alta vibração, ruído anormal, deslocamento axial do eixo e quebra dos parafusos de fixação do mancal de escora. O compressor foi então substituído por um outro reserva. A inspeção do compressor acidentado mostrou que um dos diafragmas despreendeu-se devido à quebra dos pinos de fixação, permitindo o atrito com o impelidor do 5^o estágio. Em outubro/95 o eixo do compressor passou a se deslocar no sentido oposto às cargas esperadas e nova inspeção foi realizada. Constatou-se que o mancal radial LA e escora apresentavam “pittings” e opacidade no metal patente e que o munhão apresentava sulcos de até 3,0mm de largura e 1,5mm de profundidade, numa área correspondente à aproximadamente 2/3 da área de contato com o mancal. Medidas de caráter provisório foram adotadas para possibilitar a operação até a parada geral (substituição dos mancais e polimento do eixo para quebrar as quinas vivas). No período compreendido entre outubro/95 e janeiro/96 as vibrações permaneceram baixas e estáveis, porém, as tensões de GAP dos mancais LA do multiplicador e compressor sofriam elevações contínuas. A inspeção efetuada em janeiro/96 revelou que o problema havia se agravado, o que motivou a substituição do compressor por um outro cujas condições mecânicas eram reconhecidamente boas. Após 11 dias de operação observou-se que as tensões de GAP dos mancais LA do multiplicador e compressor sofriam elevações diárias com taxa de 0,06mm no compressor e 0,04mm no multiplicador. Nova inspeção foi executada em fevereiro/96 e mostrou que o mancal radial LA do compressor estava em avançado estágio de deterioração e que o munhão apresentava sulcos profundos similares ao apresentado pelo outro compressor. Em caráter provisório foi feita uma usinagem na caixa de mancal e o casquilho foi deslocado axialmente para permitir o apoio do eixo fora da zona danificada. Em apenas 3 dias a metalização do eixo e o metal patente do mancal radial do compressor foram totalmente removidos, ocasionando nova substituição do compressor em fevereiro/96.

Medições de magnetismo residual foram realizadas nos diafragmas, acoplamento e carcaça do compressor removido na última intervenção e componentes reservas que se encontravam no almoxarifado. Não foi possível medir o magnetismo residual do rotor uma vez que ele foi enviado para recuperação nas instalações do fabricante. Entretanto, realizamos medições do rotor reserva novo que se encontrava no almoxarifado. Os níveis de magnetismo residual encontrados nos componentes do compressor estavam acima dos valores aceitáveis e foram desmagnetizados. Muitos dos componentes reserva

que se encontravam no almoxarifado apresentavam níveis elevados de magnetismo residual. As tabelas 1 a 5 mostram os níveis de magnetismo residual encontrado, os níveis deixados após desmagnetização e os níveis considerados aceitáveis.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Equipamentos que já apresentaram falhas causadas por correntes de origem eletromagnética estão sujeitos a uma reincidência do problema, sendo recomendável um controle rigoroso do magnetismo residual. Para que este controle seja efetivo, é necessário que se tenha pleno conhecimento do estado de magnetismo residual dos equipamentos reserva e componentes reservas novos ou recuperados que venham a ser instalados. A fim de evitar a magnetização das máquinas é indicado que antes de realizar qualquer solda elétrica certificar-se de que o aterramento da máquina de solda esteja o mais próximo possível do ponto a ser soldado e que os cabos estejam enrolados um ao outro, evitando que abracem tubulações ou a carcaça da máquina. Se possível realizar as soldas antes que o rotor seja instalado na carcaça, evitando que arcos elétricos ocorram através das folgas entre munhões e mancais, provocando eletro-erosão dos mancais e magnetização do conjunto rotativo. Se for executado algum serviço de inspeção por partículas magnéticas, certificar-se de que o componente foi posteriormente desmagnetizado.

O aterramento e monitoração das correntes de eixo, através de escovas e monitores desenvolvidos especificamente para esta finalidade, são ferramentas importantes na prevenção de falhas ocasionadas por correntes de eixo e fornecem informações valiosas para a manutenção preditiva e preventiva dos equipamentos.

BIBLIOGRAFIA

¹Nippes, Paul I., Sohre John S., “Electromagnetic Shaft Currents in Turbomachinery - an Update”, Aug. 19, 1980, 25th Symposium on “Safety in Ammonia Plants and Related Facilities”, American Institute of Chemical Engineers, Portland, OR.

²Nippes, Paul I., Sohre John S., et al, “Panel Session on Shaft Currents and Grounding Brush Application in Rotating Machinery”, Oct.22,1986, Joint Power Generation Conference, Portland, OR.

- ³Nippes, Paul I., Sohre John S., “Electromagnetic Shaft Currents and Demagnetization of Rotors of Turbines and Compressors”, Dec. 1978, 7th Turbomachinery Symposium, Texas A&M University, Houston, TX.
- ⁴Nippes, Paul I., Sohre John S., et al, “Panel on Electromagnetic Shaft Current Control”, Dec. 1981, 10th Turbomachinery Symposium, Texas A&M University, Houston, TX.
- ⁵Sohre, John S., “Shaft Riding Brushes to Control Electric Stray Currents”, Sept.11, 1991, 20th Turbomachinery Symposium, Texas A&M University, Dallas, TX.
- ⁶Costello, Michael, “Shaft Voltages & Rotating Machinery”, Mar-Apr. 1993, IEEE Trans. On Industry Applications, Vol. 29, No.2, pp.419-426.
- ⁷Nippes, Paul I., “Principles of Magnetism and Stray Currents in Rotating Machinery”, Predictive Maintenance Technology National Conference, Vol.7, Issue 3, June 1994.
- ⁸Nippes, Paul I., “The Role of the Voltage-Current Monitor (VCM) in Shaft Voltage and Brush Current Monitoring”, July 25, 1995, IEEE Power Engineering Systems Summer Meeting, Portland, OR.
- ⁹Sohre, John S., “Are Magnetic Currents Destroying Your Machinery?”, Hydrocarbon Processing, Apr. 1979, pp. 207-212.

Material Armazenado no Almoarifado

Código	Descrição	Identificação	Magnetismo (Gauss)	Tolerância (Gauss)
5.006758-3	Acoplamento	01	A=6,5 R=6,5	6,0
		02	A=8,5 R=9,8	6,0
5.006772-9	Disco de Escora	01	A=28,0 R=22,0	2,0
		02	A=3,8 R=4,0	2,0
		03	A=30,0 R=16,0	2,0
		04	A=32,0 R=16,0	2,0
5.006763-0	Mancal de Escora	01	A=14,0 R=28,0	2,0
5.053752-0	Caixa de Mancal LO	01	12,5	4,0
5.006213-1	Coroa	01	A=5,0	2,0
5.006214-0	Pinhão	01	Empacotado	2,0
Multiplicador (montado)	Carcaça	01	14,0	10,0
	Eixo da Coroa	01	16,0	2,0
	Eixo do Pinhão LA (extremidade)	01	11,5	2,0
	Mancal LOA Pinhão	01	7,5	4,0

A - Axial

R - Radial

Tabela 1

ROTOR			
Posição	Magnetismo Original (Gauss)	Magnetismo Final (Gauss)	Tolerância (Gauss)
A	A= 7,0	A=1,8	2,0
B	R= 4,0	R=0,6	2,0
C	R= 2,4	R=0,4	2,0
D	A=16,0	A=4,0	4,0
E	A=22,0	A=3,0	4,0
F	A=16,0	A=2,0	4,0
G	A=22,0	A=1,8	4,0
H	A=26,0	A=1,5	4,0
I	A= 8,0	A=1,5	4,0
J	R=14,0	R=0,8	2,0
L	A= 2,4	A=1,6	2,0
Colar de Escora	A=16,0	A=1,2	2,0

A - Axial

R - Radial

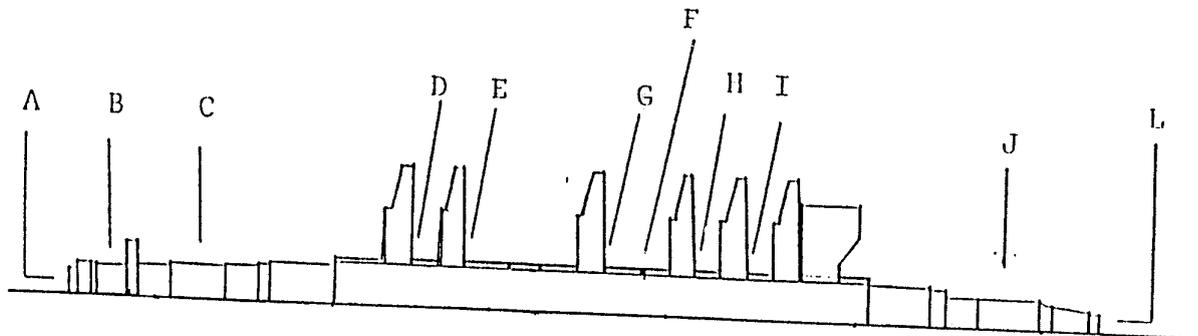


Tabela 2

Componentes do Compressor

Componente	Posição	Magnetismo Original (Gauss)	Magnetismo Final (Gauss)	Tolerância (Gauss)
Mancal LA Inferior	Interface	C=10,0	C=0,6	2,0
	Faces	A=9,0	A=0,7	2,0
Mancal LA Superior	Interface	C=1,8	C=0,8	2,0
	Faces	A=1,2	A=0,4	2,0
Mancal LAO Inferior	Interface	C=3,0	C=0,5	2,0
	Face-Int.	A=3,0	A=0,8	2,0
	Face-Ext.	A=4,0	A=2,0	2,0
Mancal LAO Superior	Interface	C=5,5	C=2,0	2,0
	Face-Int.	A=4,0	A=0,5	2,0
	Face-Ext	A=5,5	A=1,2	2,0
Mancal de Escora Usado (1)	Interface	C=16,0	C=0,8	2,0
	Faces	A=10,0	A=1,1	2,0
Mancal de Escora Usado (2)	Interface	C=10,0	C=0,5	2,0
	Faces	A=10,0	A=1,0	2,0
Caixa de Mancal LOA Inferior	Interfaces	C=2,6	C=1,4	4,0
	Face-Int.	A=1,5	A=1,5	4,0
	Face-Ext.	A=7,0	A=2,2	4,0
Caixa de Mancal LOA Superior	Interface	C=0,8	C=0,8	4,0
	Face-Int.	A=1,2	A=1,2	4,0
	Face-Ext.	A=0,8	A=0,8	4,0
Caixa de Mancal LA Inferior	Interface	C=6,0	C=2,8	4,0
	Face-Int.	A=4,0	A=2,0	4,0
	Face-Ext.	A=4,0	A=2,2	4,0
Caixa de Mancal LA Superior	Interface	C=6,0	C=0,8	4,0
	Face-Int.	A=4,0	A=2,6	4,0
	Face-Ext.	A=9,0	A=0,6	4,0

A - Axial

C - Circular

Tabela 3

Componentes do Compressor

Componente	Posição	Magnetismo Original (Gauss)	Magnetismo Final (Gauss)	Tolerância (Gauss)
Diafragma Inferior Stg1	Interface	C=15,0	C=0,8	6,0
	Faces	A=30,0	A=0,6	6,0
Diafragma Superior Stg1	Interface	C=16,0	C=1,2	6,0
	Faces	A=22,0	A=1,1	6,0
Diafragma Inferior Stg2	Interface	C=7,0	C=1,3	6,0
	Faces	A=12,0	A=1,5	6,0
Diafragma Superior Stg2	Interface	C=12,0	C=2,1	6,0
	Faces	A=7,0	A=1,8	6,0
Diafragma Inferior Stg3	Interface	C=11,0	C=1,8	6,0
	Faces	A=10,0	A=1,5	6,0
Diafragma Superior Stg3	Interface	C=12,0	C=2,2	6,0
	Faces	A=11,0	A=2,4	6,0
Diafragma Inferior Stg4	Interface	C=4,5	C=2,6	6,0
	Faces	A=8,0	A=1,6	6,0
Diafragma Superior Stg4	Interface	C=6,0	C=3,0	6,0
	Faces	A=6,0	A=2,8	6,0
Diafragma Inferior Stg5	Interface	C=6,0	C=1,8	6,0
	Faces	A=5,0	A=1,4	6,0
Diafragma Superior Stg5	Interface	C=6,0	C=1,5	6,0
	Faces	A=6,0	A=0,8	6,0
Diafragma Inferior Stg6	Interface	C=4,5	C=1,5	6,0
	Faces	A=4,0	A=2,0	6,0
Diafragma Superior Stg6	Interface	C=7,0	C=2,1	6,0
	Faces	A=10,0	A=2,2	6,0
End Wall Inferior LA	Interface	C=4,0	C=1,4	6,0
	Faces	A=4,5	A=1,2	6,0
End Wall Superior LA	Interface	C=2,8	C=2,5	6,0
	Faces	A=2,8	A=2,3	6,0
End Wall Inferior LAO	Interface	C=4,0	C=2,4	6,0
	Faces	A=4,0	A=2,2	6,0
End Wall Superior LAO	Interface	C=4,5	C=2,0	6,0
	Faces	A=4,3	A=1,8	6,0

A - Axial
C - Circular

Tabela 4

Carcaça do Compressor

⁹Sohre, John S., "Are Magnetic Currents Destroying Your Machinery?", Hydrocarbon podasodasidoas

Componente	Magnetismo Original (Gauss)	Magnetismo Final (Gauss)	Tolerância (Gauss)
Carcaça Inferior	C=24,0	C=4,0	10,0
Carcaça Superior	C=37,0	C=8,5	10,0

C - Circular

Tabela 5

Esquema Ilustrativo para a Auto-excitação

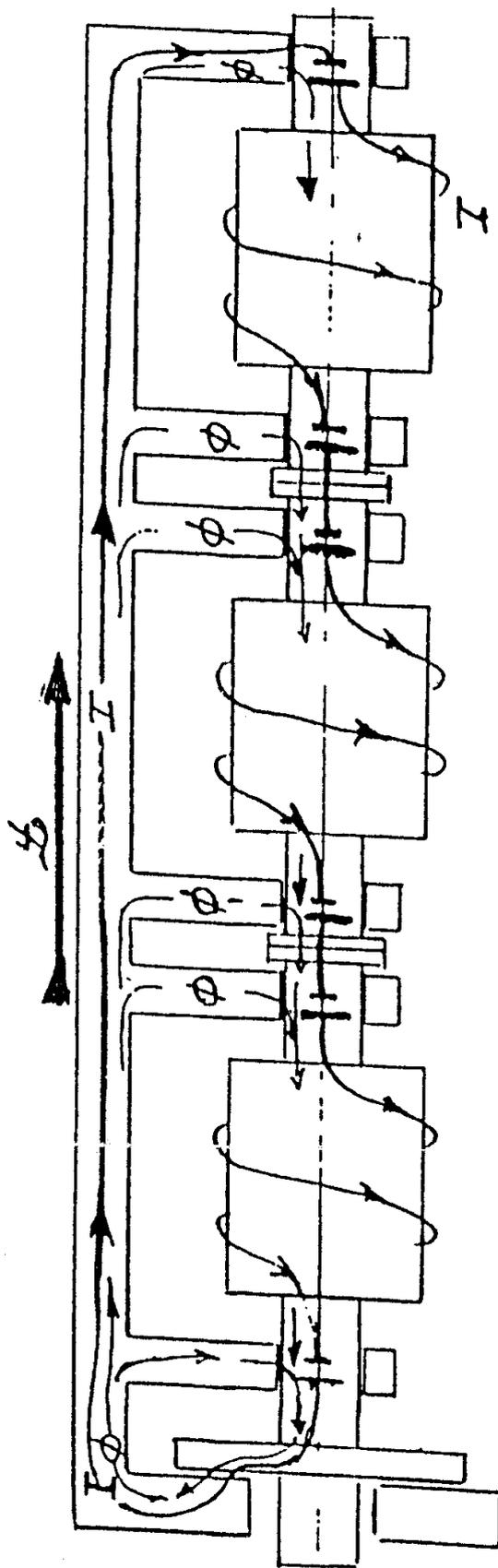
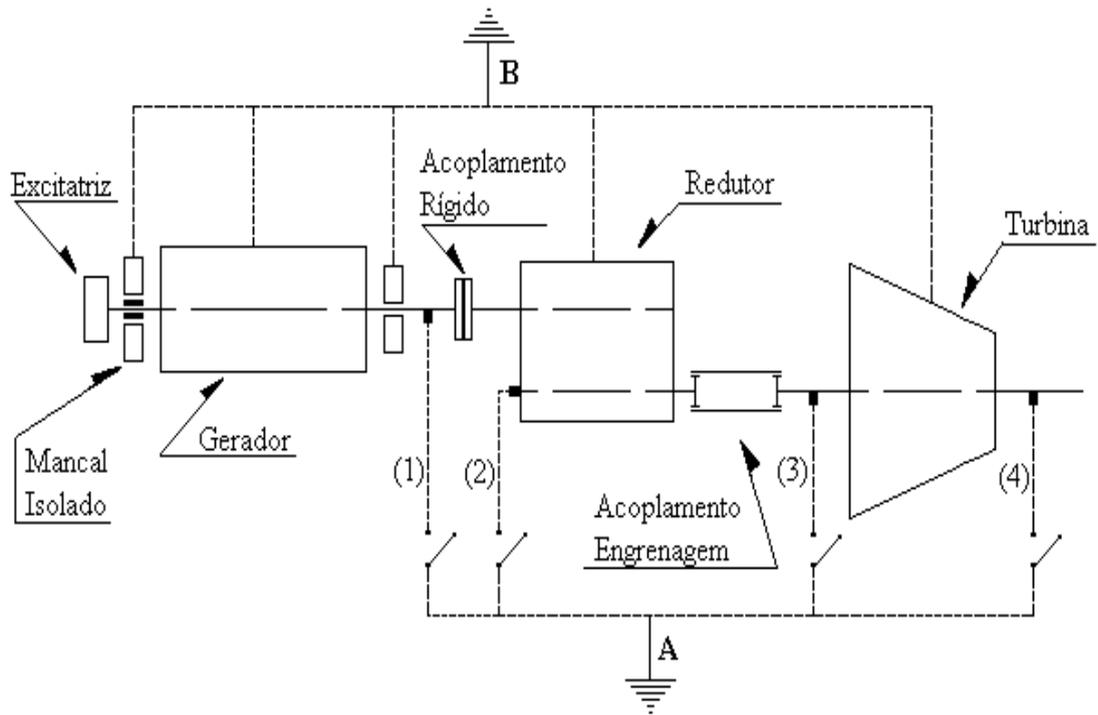


Figura 1

Sistema de Aterramento



- (1)...(4): Escovas de Aterramento
- A: Malha de Aterramento para Eixos
- B: Malha de Aterramento para Carcaças

Figura 2