



O Método de Ensaio por Partículas Magnéticas (PM)

1-Introdução

O Ensaio Não Destrutivo por Partículas Magnéticas (PM) ou magnetic particle testing (MPT) constitui-se em uma das modalidades de Ensaio Não Destrutivo, que decorre da produção de campos magnéticos homogêneos em forma de linhas de fluxo magnético em materiais ferromagnéticos.

Se uma barra magnética com polos Norte e Sul é quebrada em duas partes, duas outras barras magnéticas deverão estar formadas, cada uma tendo o seu Norte e Sul formados e este processo se repetirá a cada quebra da barra.

Se uma barra sofre uma fratura, sem ser totalmente quebrada, polos Norte e Sul se formarão nas faces opostas do local da fratura ou da Trinca, como se estivesse rompido completamente (figura 1).

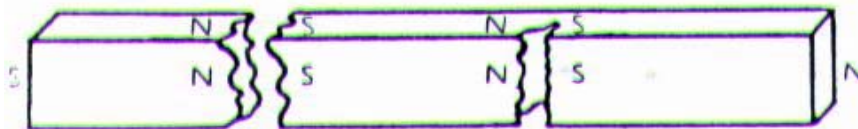


figura 1

A intensidade do campo magnético, nestes polos, deverão ser diferentes, daquele ocorrido, quando a barra se rompe completamente. A intensidade do campo magnético está diretamente relacionada com as dimensões físicas da trinca (profundidade, largura e comprimento), características do material e a intensidade do campo aplicado.

O campo, no ar, formado acima das trincas ou em outro tipo de descontinuidade, de uma peça magnetizada é chamada de campo de fuga.

A figura 2, abaixo, mostra o vazamento das linhas de fluxo magnético, da forma em que elas deixam o material, de um lado da trinca, fluindo pelo ar e entrando no material, pelo outro lado da trinca. O fluxo entre dois pontos de diferentes polaridades, formam um campo magnético sobre a trinca.

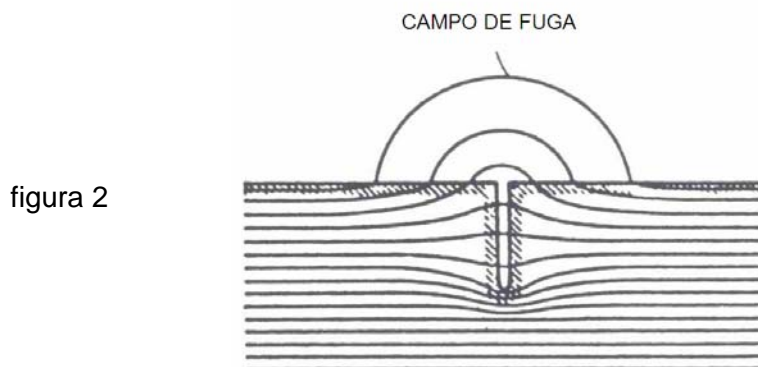


figura 2

O fluxo magnético sempre procura o caminho de menor resistência. O ar na trinca tem alta relutância para a passagem de fluxos magnéticos. Quando em uma peça de aço, uma trinca é bem fechada, na formação do campo de fuga, o fluxo magnético deverá atrair finas partículas, de material ferromagnético com alta permeabilidade e baixa retentividade, pois, apresenta menor resistência para formar o campo magnético no ar, conforme figura 3, em uma trinca entre filetes de uma rosca, atraindo as partículas, mesmo em pequenos campos de fuga formados.



Uma certa quantidade de partículas é, então, atraída, no caminho do fluxo de baixa relutância magnética, formando a indicação, que será então avaliada se excede os limites das normas aplicáveis.

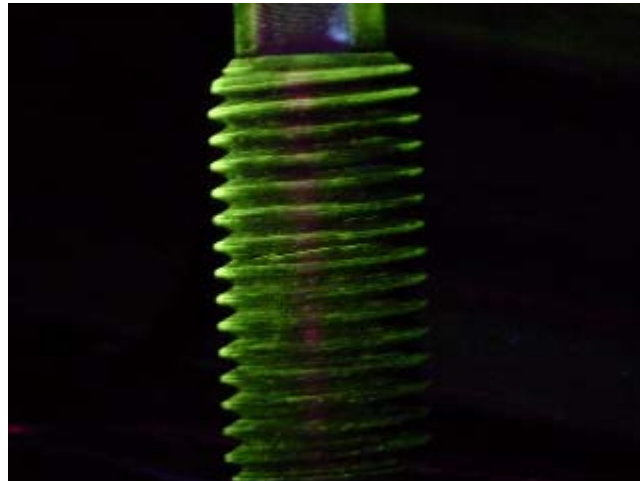


figura 3

2- Características dos materiais

Quando um material é colocado sob a força de um campo provocado por campo magnético externo, momentaneamente os domínios de elétrons dos materiais são reorientados (figura 4). Quando isto ocorre, produz um campo magnético interno, na conhecida Lei de Faraday de indução magnética.

Quando um material apresenta-se não magnetizado, os domínios apresentam-se dispostos aleatoriamente. Um campo magnético externo é aplicado, alguns domínios são alinhados com o campo, e o aumento de alinhamento dos domínios ocorrerá com o aumento da intensidade do campo.

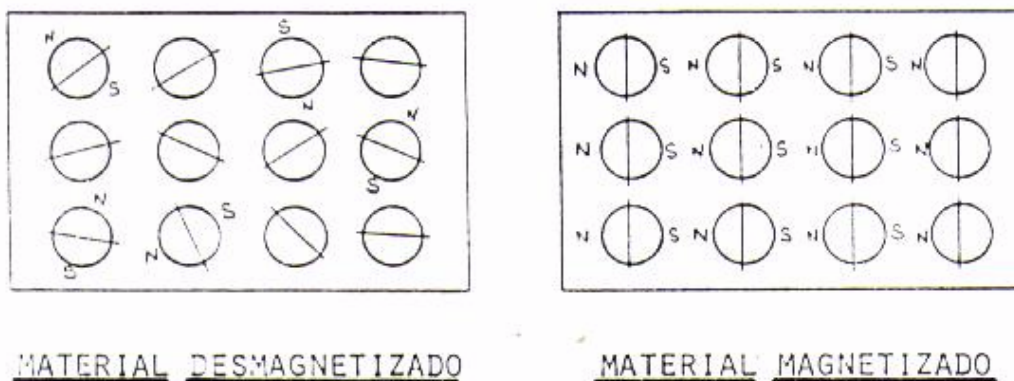


figura 4

3- Linhas de força ou linhas magnéticas

O conceito de linhas de força é usualmente descrito como o Campo Magnético. Observando-se a ilustração mostrada em uma barra magnética, na figura 5, em que é colocada uma folha de papel e sobre o papel deixa-se cair pó de ferro.



As linhas de força da barra alinharão o pó de ferro, tornando possível a visualização das linhas de campo magnético.

Partindo-se desta experiência, observamos que:

- 1-Formam caminhos fechados
- 2-As linhas de campo nunca se cruzam
- 3-Percorrem os caminhos de menor resistência
- 4-São mais densamente aglomeradas nos polos
- 5-Percorrem do norte para o sul externamente e do sul para o norte na barra

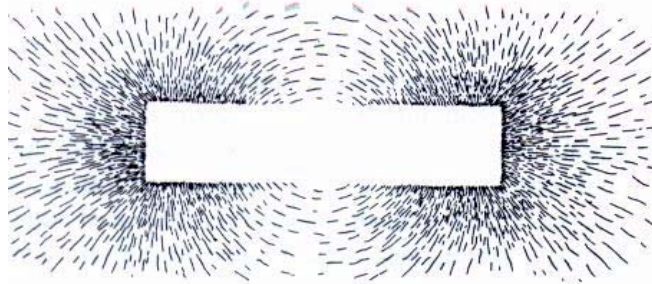


figura 5

4- Eletromagnetismo

A relação do campo magnético na eletricidade está diretamente ligada a corrente elétrica, ou seja, a sua passagem por um condutor, gera campos magnéticos nas áreas ao redor deste condutor.

Ao montarmos o dispositivo conforme a figura 6, comprovamos na prática, o aparecimento do campo magnético. As linhas de força formam-se em uma folha de papel colocada ao redor do condutor, na qual partículas de ferro são distribuídas no momento em que a corrente flue pelo condutor.

O pó de ferro irá se alinhar conforme as linhas de força, observando-se que a intensidade do campo (concentração das linhas de força) decai a medida que se afasta do condutor, pois a intensidade da força magnetizante é diretamente proporcional à corrente elétrica e inversamente proporcional a distância das linhas em relação ao condutor.

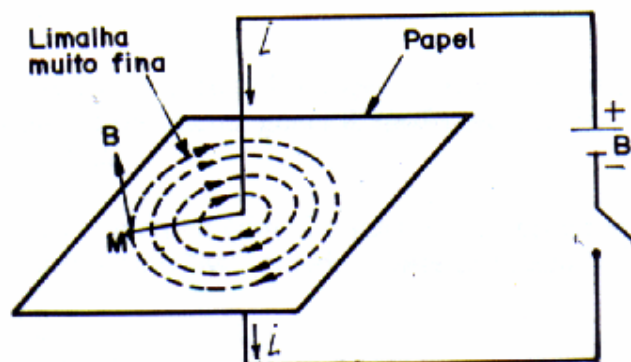


figura 6

5-Magnetização de materiais ferromagnéticos

Materiais ferromagnéticos podem ser magnetizados usando técnicas para produzir campos magnéticos de forma **direta** ou **indireta/induzida**.

Os campos magnéticos gerados de forma **direta**, são produzidos por contatos (eletrodos ou cabeças de contato) conectados diretamente com a peça ou de



forma **indireta/induzida**, quando produzidos através de bobinas, solenóides ou condutor central.

Estas duas formas de geração de campos magnéticos caracterizam os dois tipos de campos utilizados no ensaio, ou seja, o campo **Circular e Longitudinal**, importantes na aplicação, pois conforme a sua direção em relação a da peça, irá detectar as descontinuidades longitudinais ou transversais em relação ao comprimento.

5.1- Magnetização direta

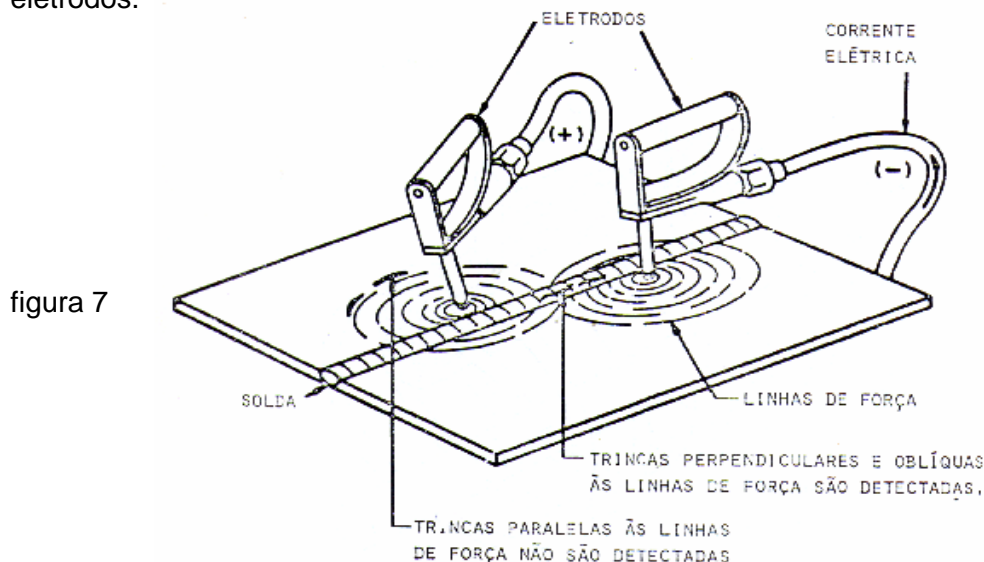
Quando a corrente elétrica passa diretamente numa peça, através de cabos ou contatos, conectados diretamente com a peça, formam-se campos circulares, denominados de **direto**.

A direção do campo magnético formado ao redor do condutor é Circular e perpendicular. A concepção mais importante é que a direção do campo magnético tem uma relação perpendicular para a direção da corrente.

5.1.1-Técnica dos eletrodos

É uma técnica de magnetização **Circular direta** que decorre da aplicação de corrente de magnetização em Corrente Alternada(CA) para detecção de descontinuidades superficiais ou Corrente Contínua(CC) para detecção de descontinuidades superficiais ou sub-superficiais, através de dois eletrodos de contato, que fecham o circuito de passagem da corrente na peça.

A figura 7 representa a aplicação do ensaio em uma peça com solda, em que entre os dois eletrodos de contato, através da qual circula a corrente elétrica, serão detectadas trincas alinhadas na mesma direção e no máximo a 45° , do posicionamento dos eletrodos.



O aquecimento da peça, nos locais de contato com os eletrodos, podem provocar queimas na superfície da peça, contaminação do material, endurecimento localizado



com alteração da estrutura metalúrgica e micro-trincas e deve ser minimizado, utilizando-se recursos de proteção na superfície da peça ou nos eletrodos. Os equipamentos utilizados são portáteis (figura 8) ou semi-portáteis, em Corrente Alternada(CA) e Corrente Contínua(CC), com correntes de magnetização de 1.500 a 6.000 Ampères. A intensidade do Campo Magnético está diretamente relacionada com o valor de corrente aplicado, em função da espessura da peça e a distancia entre eletrodos.

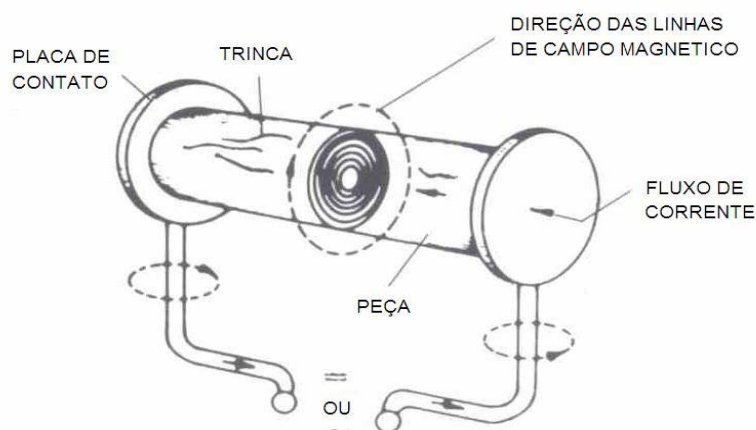


figura 8

5.1.2-Técnica do Contato Direto

É uma técnica de magnetização **Circular direta** que decorre da aplicação de corrente de magnetização em Corrente Alternada(CA) para detecção de descontinuidades superficiais ou Corrente Contínua(CC) para detecção de descontinuidades superficiais ou sub-superficiais, através de duas placas de contato de máquinas estacionárias, que fecham o circuito de passagem da corrente na peça.

figura 9



O campo magnético é formado ao longo de todo o condutor de forma linear(figura 9), sendo diretamente proporcional ao valor da corrente. Externamente é inversamente proporcional com o aumento ou afastamento da distancia do condutor. A área da secção transversal da peça é o fator utilizado na determinação do valor da corrente de magnetização a ser aplicada.

Os equipamentos utilizados são estacionários horizontal(figura 10) ou vertical, para ensaio de grandes quantidades de peças seriadas fundidas, forjadas e laminadas, de pequeno e médio porte e a corrente de magnetização de 1.500 a 4.000 Ampères.



figura 10

5.2-Magnetização indireta(Induzida)

Quando um material ferromagnético é influenciado por um campo magnético externo. Pode ser um ímã permanente, ou um campo por bobina(s) formadas por um cabo/condutor conformado em círculos/espiras, ou um eletroímã tipo Yoke, aparelho portátil composto de bobina(s) envolvendo um núcleo ferrítico ou através de um condutor central de material com boa condutividade elétrica.

Para bobina, Yoke e condutor central, a corrente elétrica flue através do condutor e a direção do campo magnético é perpendicular ao plano das espiras e do condutor.

Em função das linhas de força serem fechadas, o campo magnético externo é formado na direção Longitudinal em relação a bobina ou Circular em relação ao condutor central.

5.2.1-Técnica utilizando ímãs permanentes

Esta técnica não utiliza o princípio do eletromagnetismo e suas aplicações, utilizando-se ímãs permanentes, são limitadas pela baixa indução de campo magnético na peça. Alguns yokes, com pernas ajustáveis, permitem um nível de indução do campo que pode ser variado com o ajuste das pernas.

A vantagem é a portabilidade e de não necessitar de alimentação elétrica. Usado para ensaio de pequenas peças que apresentem trincas de fadiga.

Partículas magnéticas via úmida devem ser usadas em suspensões líquidas com óleo, por estarem sendo gerados campos magnéticos estáticos, permitindo mobilidade às partículas.

A indicação deve estar entre os polos do yoke. A descontinuidade detectada será na direção a $90^\circ \pm 45^\circ$ em relação aos polos

5.2.2-Técnica da bobina

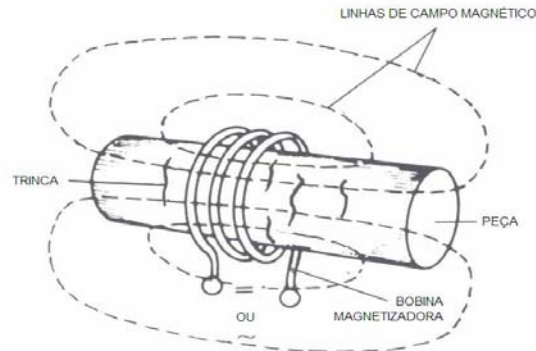
Como mostra a figura 11, uma bobina com várias espiras envolve a peça, ou se desloca ao longo dela (para peças com mais de 600mm de comprimento), gerando um campo magnético **indireto/induzido, Longitudinal** (linhas de força paralelas ao eixo



da peça) que permite detectar descontinuidades “transversais”, ou “circulares”. Não há contato entre a peça e o seu “magnetizador”, mas nas pontas formam-se pólos magnéticos livres.

A bobina poderá ser envolvente, como a figura acima, ou então duas bobinas fixas, em ensaios multidirecionais.

figura 11



Os equipamentos, em geral, são estacionários, para ensaio de peças seriadas, havendo em alguns casos, aplicações com bobinas portáteis para ensaio de peças de grandes comprimentos e médios diâmetros. A corrente de magnetização que percorre as espiras da bobina ou das bobinas, poderá ser Corrente Alternada(CA) ou Corrente Contínua(CC), dependendo, das características do equipamento e da peça a ser ensaiada.

A intensidade do campo varia conforme o comprimento e a área da secção transversal da peça e está diretamente relacionada com o valor da corrente e o número de espiras da bobina.

5.2.3-Tecnica Yoke

Para inspeção de soldas utiliza-se os jugos (ou Yokes) eletromagnéticos; como mostra a foto, o cordão de solda passa entre as “pernas”do jugo(figura 12). As características do aparelho tipo Yoke são de aparelho eletroímã portátil composto de bobina(s) envolvendo em núcleo ferrítico, que induzem o campo **Longitudinal indireto**, na superfície da peça. Forma-se entre as pernas, geralmente articuladas, um campo magnético que se fecha através da chapa soldada(figura 13). O jugo é deslocado, etapa por etapa, ao longo do cordão de solda, mudando-se a direção de aplicação a 90° para que seja possível detectar descontinuidades transversais e longitudinais em relação solda. Não há aquecimento nos pontos de contato.



Figura 12

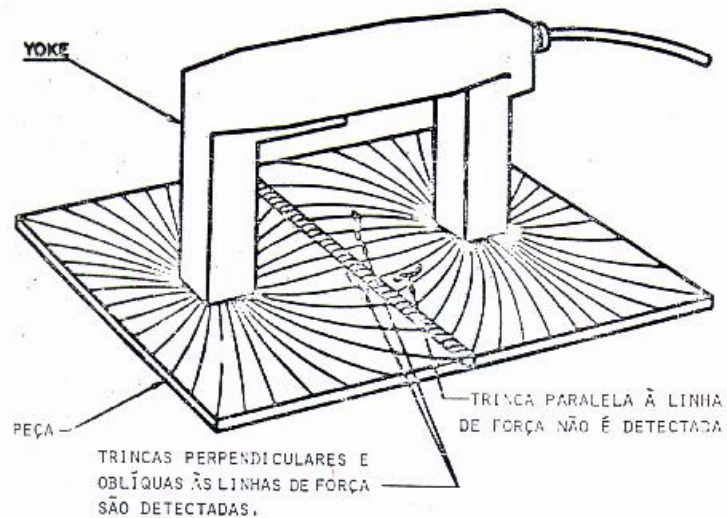


figura 13

A relação Àmperesxespiras é fixa e a intensidade do campo está diretamente relacionada com a abertura entre as sapatas e a maior concentração do campo ocorre nas proximidades das sapatas.

5.2.4-Técnica do condutor central

A figura 14 mostra a magnetização **Circular indireta** de peças como anéis e buchas: uma haste de cobre, através da qual circula a corrente elétrica, atravessa a peça. Não há contato entre a peça e o seu “magnetizador”. Serão detectadas descontinuidades/trincas com orientação longitudinal, no diâmetro interno e no diâmetro externo, neste caso, conforme o tipo de corrente de magnetização utilizado(corrente contínua) e a espessura do tubo. A intensidade do campo magnético é função direta da corrente de magnetização. É determinada conforme os diâmetros interno ou externo da peça, se as descontinuidades a serem detectadas estarão localizadas no diâmetro interno, ou em ambos, diâmetros interno e externo. Caso a aplicação seja realizada com a barra centrada em relação ao diâmetro interno da peça, o ensaio será realizado em somente uma etapa.

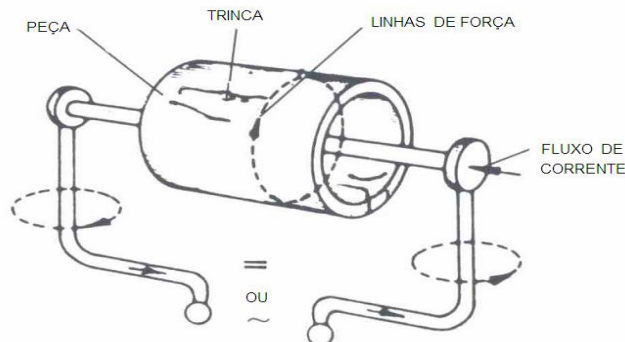


figura 14

Para aplicações com a barra descentrada(figura 15) o ensaio deverá ser realizado por etapas, cobrindo uma área equivalente a quatro vezes o diâmetro da barra condutora.

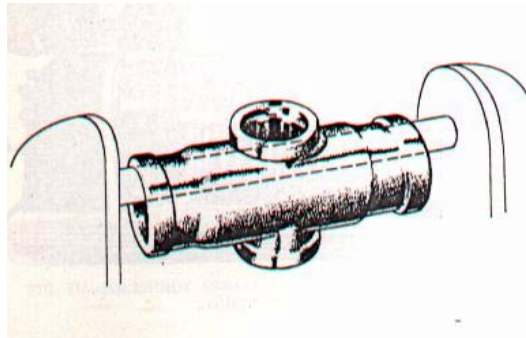


Figura 15

6-Campo magnético multidirecional

Quando no ensaio, os dois campos magnéticos, longitudinal e circular, podem ser gerados separadamente, em seqüência, ou simultaneamente, em máquinas estacionárias de alta produção. A magnetização simultânea/multidirecional é obtida utilizando duas Correntes Alternadas defasadas para o Contato Direto e Bobina ou uma Corrente Contínua (CC) e a outra Corrente Alternada (CA).

Na aplicação simultânea dos dois campos magnéticos é gerado um vetor resultante que cobre 360° ou 180° da área da peça.

7-Desmagnetização

Quando uma peça é magnetizada e após cessar as forças magnetizantes aplicadas, não cessam as forças magnetizantes na peça, observamos que a peça adquiriu "Magnetismo Residual".

Este campo residual, também denominado de "campo magnético residual ou remanescente" poderá ser prejudicial e interferir nos processos de fabricação ou operação da peça. O magnetismo residual é função da propriedade que certos materiais apresentam de reter magnetismo, após a força de magnetização ter sido removida e esta propriedade é chamada de "Retentividade".



Figura 16



A eliminação do magnetismo residual é obtida com a Desmagnetização através de bobinas desmagnetizadoras(fig. 16),Yokes ou aparelhos com características especiais.

8-Partículas Magnéticas

As Partículas Magnéticas possuem a função importante de serem atraídas para os locais de formação de “Campo de Fuga” e identificarem as descontinuidades(figura 17). Devem possuir boa mobilidade e coloração adequada para visualização.

Possuem as características magnéticas de Alta Permeabilidade(fácil magnetização) e Baixa Retentividade(baixa condição de produzir Magnetismo Residual).

Podem ser aplicadas a Seco, por pulverização e em suspensão no ar ou Úmida em suspensão de um líquido.

São encontradas em cores Coloridas visíveis sob luz branca ou natural ou Fluorescentes sob luz negra(tipo de radiação ultra-violeta), com intensidades adequadas para rápida visualização.

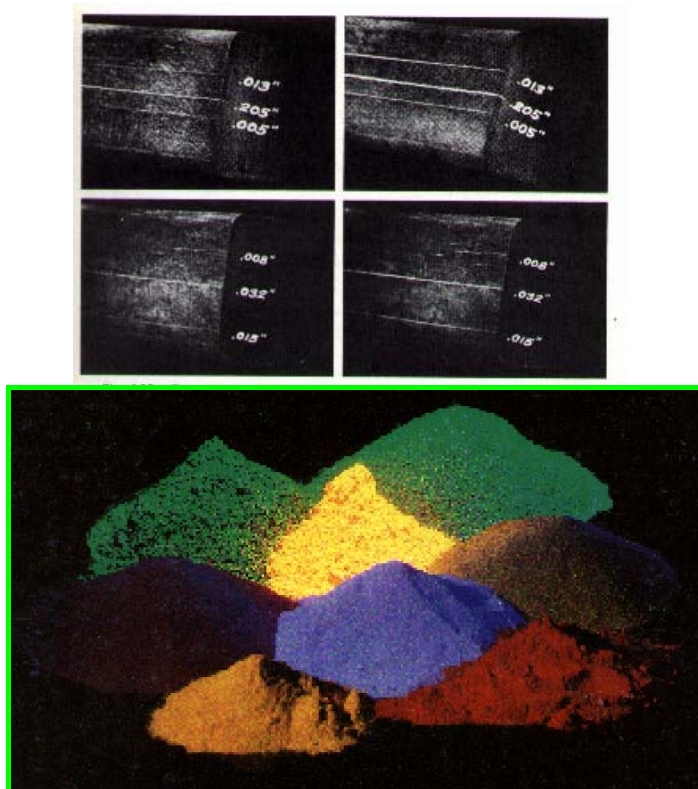


Figura 17

9-Meios de Controle

Para que o ensaio por Partículas Magnéticas seja realizado de forma satisfatória, são necessários controles,para assegurar a confiabilidade do ensaio e alguns destes são:medição da INTENSIDADE de campo magnético,tubo centrífugo(fig. 18) graduado para medir níveis de CONCENTRAÇÃO de banhos de partículas no meio líquido, medição da INTENSIDADE de luz negra(fig 20) para o ensaio com Partículas



Magnéticas Fluorescentes, medição de intensidade de luz branca ou natural, PADRÕES(Fig 19, 21 e 22) e etc.

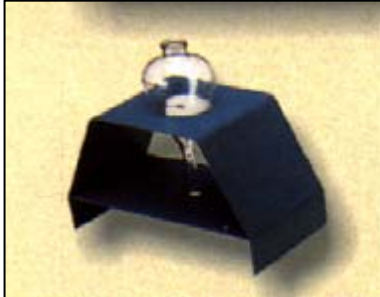


Figura 18



Figura 19



Figura 20

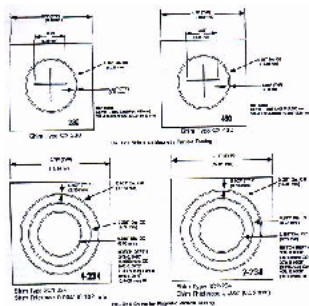


Figura 21

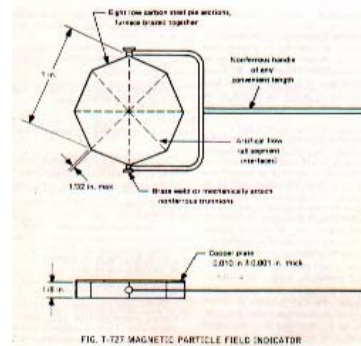


Figura 22

ELABORAÇÃO/REDAÇÃO E EDIÇÃO

- ENGENHEIRO JOSÉ CARLOS PAIOLI
- FORMAÇÃO: ENGENHEIRO INDUSTRIAL MODALIDADE MECANICA
ESCOLA DE ENGENHARIA MACKENZIE
- ADMINISTRADOR DE EMPRESAS
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO DE EMPRESAS MACKENZIE
- PROFISSIONAL QUALIFICADO PM NÍVEL 3 PELO SISTEMA NACIONAL DE QUALIFICAÇÃO E CERTIFICAÇÃO
- SÓCIO-GERENTE DA EMPRESA SERV-END INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.
- QUALIFICADO PM NÍVEL 2 ASNT PARA ENSAIO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS
- RESPONSÁVEL PELA ÁREA DE END PARA PRODUTOS FUNDIDOS DA EMPRESA COBRASMA S / A
- CURSO DE INSPETOR DE SOLDA PELO WELDING INSTITUTE/ LONDON
- SÓCIO FUNDADOR DA ABENDE.