CORROSÃO

É a deterioração dos metais e de suas ligas como resultado de reações químicas e eletroquímicas com o ambiente. A corrosão também é definida como a degradação dos metais por vias não mecânicas, de modo que o metal volta ao seu estado natural. O ferro e o aço costumam sofrer corrosão em qualquer ambiente com oxigênio e água. A velocidade de corrosão varia conforme as condições ambientais. Por exemplo, na água aumenta com a velocidade ou a acidez da água, com o aumento da temperatura ou a aeração pelo movimento do metal, com a presença de certas bactérias ou outros fatores. Por outro lado, é retardada por camadas protetoras contra a corrosão. A alcalinidade da água também reduz a velocidade de corrosão nas superfícies de aço. No entanto, para que haja corrosão são sempre necessários água e oxigênio, e ambos determinam sua intensidade. Por exemplo, no ar seco não se observa corrosão nos aços. Se a umidade do ar for inferior a 30, a corrosão é desprezível em temperaturas normais ou inferiores.



Figura 1: Rodas dentadas expostas à corrosão

Neste relatório, devido à abordagem orientada ao problema, serão considerados os efeitos da corrosão atmosférica.

Corrosão atmosférica

A exposição dos metais à corrosão atmosférica é inevitável, qualquer que seja a área da estrutura em que sejam usados. A corrosão atmosférica é a mais importante de todos os tipos de corrosão, tanto pelo dinheiro gasto quanto pela quantidade de material perdido. Varia conforme as regiões geográficas e as condições locais. A velocidade de corrosão nas zonas industriais pode ser 100 vezes maior que nas regiões desérticas e polares. Verificou-se que uma chapa de aço a 24 m da costa sofre corrosão 12 vezes mais rápido que uma a 240 m. A velocidade de corrosão do aço na costa é 400-500 vezes maior que nas regiões desérticas. A velocidade da corrosão atmosférica depende das condições meteorológicas e, em particular, do grau de contaminação industrial. Do ponto de vista da corrosão, as atmosferas podem ser classificadas em quatro grupos principais.

Atmosfera levemente corrosiva: inclui as atmosferas rurais secas. Suas características são: precipitação anual inferior a 300 mm, umidade relativa geralmente inferior a 50%, distância do mar de pelo menos 50 km e ausência de poluentes industriais.

Atmosfera medianamente corrosiva: inclui as atmosferas urbanas com pouca poluição industrial. Suas características são: precipitação anual entre 300-1000 mm, umidade relativa entre 50-65%, distância do mar de pelo menos 15 km e ausência de poluentes industriais pesados.

Atmosfera corrosiva: inclui as atmosferas úmidas com poluição industrial. Suas características são: precipitação anual superior a 1000 mm, umidade relativa entre 50-80% e alta concentração de dióxido de enxofre.

Atmosfera severamente corrosiva: inclui as atmosferas úmidas com forte poluição industrial. Suas características são: proximidade do mar suficiente para ser afetada pelos ventos marinhos, umidade relativa muito alta e níveis excessivos de poluição industrial.

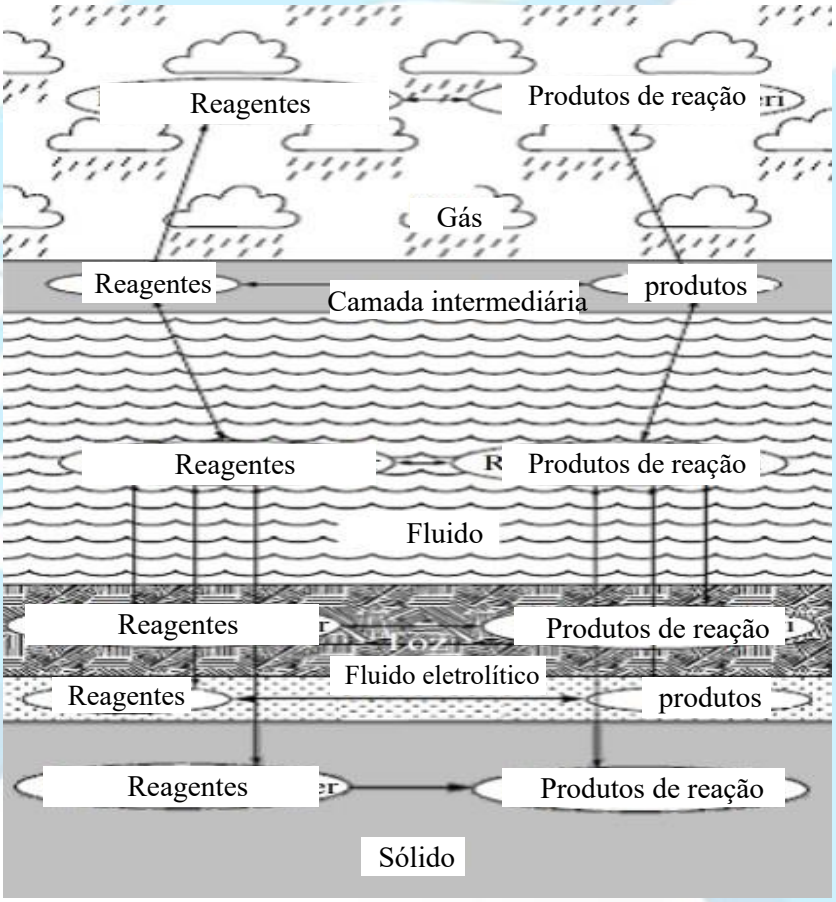


Figura 2: Ciclo de formação da corrosão atmosférica

Na realidade, agrupar as atmosferas em limites tão claros pode induzir a erro. Os fenômenos meteorológicos mudam em períodos muito curtos. A quantidade e o tipo de componentes poluentes, os sais acumulados na superfície, as impurezas e sua evolução ao longo do tempo são muito importantes. Além disso, a duração e a frequência com que as superfícies permanecem úmidas influenciam muito a velocidade de corrosão. Em muitos casos, efeitos locais em nível micro devidos à localização de uma estrutura também podem ter consequências importantes em termos de corrosão. No entanto, na prática, devem existir certos critérios para adotar medidas anticorrosão, e para isso as normas incluem diversas classificações. Para dar uma ideia, a Tabela 1 indica a velocidade de corrosão do aço em atmosferas de diferentes classes. Os valores da Tabela 1 são a média anual da corrosão em 10 anos. A velocidade de corrosão no período inicial é 2-3 vezes maior que o valor médio.

Tipo de atmosfera	Grau de corrosividade	Velocidade de corrosão (µm/ano)
Atmosfera rural seca Atmosfera industrial seca	Levemente corrosiva	1-5
Atmosfera seca úmida Atmosfera urbana	Medianamente corrosiva	10
Atmosfera úmida com poluição industrial	Corrosiva	20
Atmosfera marinha muito poluída	Severamente corrosiva	35

Tabela 1: Velocidade de corrosão do aço em diferentes atmosferas

Em geral, os efeitos da corrosão atmosférica não são catastróficos. No entanto, aumentam os custos de manutenção e reduzem em certa medida a vida útil até do melhor material. A velocidade da corrosão atmosférica depende, além dos fatores ambientais, do projeto do produto, da escolha do material adequado, do método de fabricação e da qualidade. Os fatores mais importantes são a umidade do ar, o grau de poluição atmosférica, a precipitação anual, a temperatura do ar e a velocidade do vento.

- **Efeito da umidade do ar**

Na composição da atmosfera limpa em seu estado natural, não há nenhum componente corrosivo além do vapor d'água. O vapor d'água do ar pode causar corrosão mesmo abaixo da saturação. Se a umidade relativa ultrapassar 70%, forma-se uma fina película de líquido por condensação na superfície metálica devido à diferença de temperatura entre o dia e a noite. Uma umidade relativa de 70-80% provoca um forte aumento da velocidade de corrosão. A umidade relativa mínima que provoca a formação de uma película líquida na superfície metálica é chamada de ‘umidade relativa crítica’. Abaixo desse valor não há camada líquida na superfície do metal, embora possa haver água líquida em espaços capilares muito finos. Se houver na superfície partículas sólidas com propriedades capilares, como poeira e sujeira, o vapor d'água se condensa com mais facilidade.

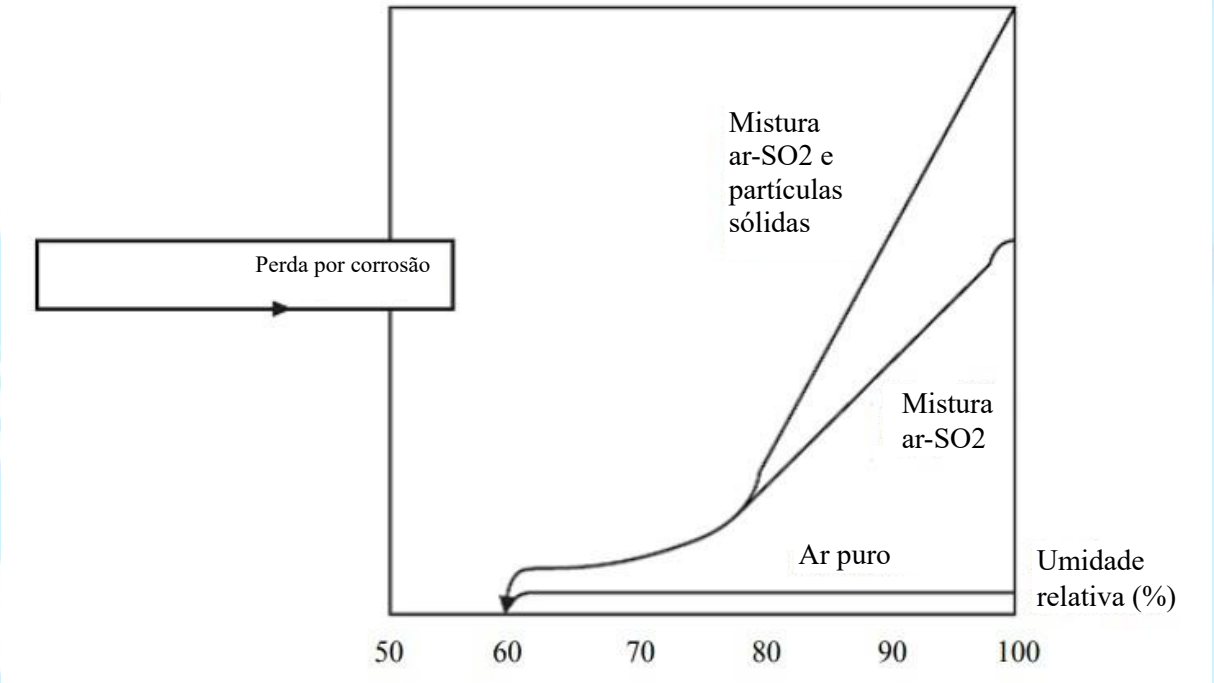


Figura 3: Relação entre poluição do ar, umidade relativa e corrosão

- **Efeito da poluição industrial**

O fator mais influente na corrosão atmosférica é a poluição industrial. Os processos industriais, especialmente a combustão, liberam na atmosfera diversos gases, vapores químicos e partículas sólidas. A Figura 3 mostra o efeito da poluição do ar sobre a corrosão. Os óxidos de enxofre são os gases químicos mais comuns e mais ativos do ar; combinam-se com o vapor d'água para formar ácidos. Além disso, outros ácidos, amônia e cloretos também podem ser incorporados à atmosfera. Sobretudo em atmosferas abertas para o mar, há partículas microscópicas de sal transportadas pelo vento que se depositam nas superfícies metálicas expostas. A Tabela 2 indica as concentrações típicas de alguns poluentes atmosféricos.

Poluentes	Local	Concentração (mg/m3)	
Dióxido de enxofre	Região industrial	Inverno	350
		Verão	100
	Região rural	Inverno	100
		Verão	40
Amônio	Região industrial		4.8
	Região rural		2.1
Cloro *Cloro medido na precipitação (mg/L)	Região industrial do interior	Inverno	7.9
		Verão	5.3
	Litoral rural	Inverno	57
		Verão	18
Partículas sólidas	Região industrial	Inverno	250
		Verão	100
	Região rural	Inverno	60
		Verão	15

Tabela 2: Poluentes atmosféricos e suas concentrações típicas

- **Efeito da temperatura**

Como a velocidade da corrosão atmosférica depende do tempo de permanência da película líquida na superfície metálica, a temperatura influencia muito a corrosão. Enquanto a temperatura estiver baixa, a secagem da superfície é retardada e a corrosão continua. Por isso, a velocidade de corrosão atmosférica é maior nas regiões frias que nas de clima temperado. Além disso, as variações constantes de temperatura favorecem a corrosão, pois facilitam a condensação na superfície metálica.

Embora seja verdade que a corrosão aumenta com a temperatura, é preciso considerar que ficam fora dessa generalização os casos em que, com o aumento da temperatura, a umidade relativa diminui e o ambiente seca completamente. Em geral, pode-se dizer que uma variação de temperatura de 30°C multiplica por 10 a velocidade de corrosão.

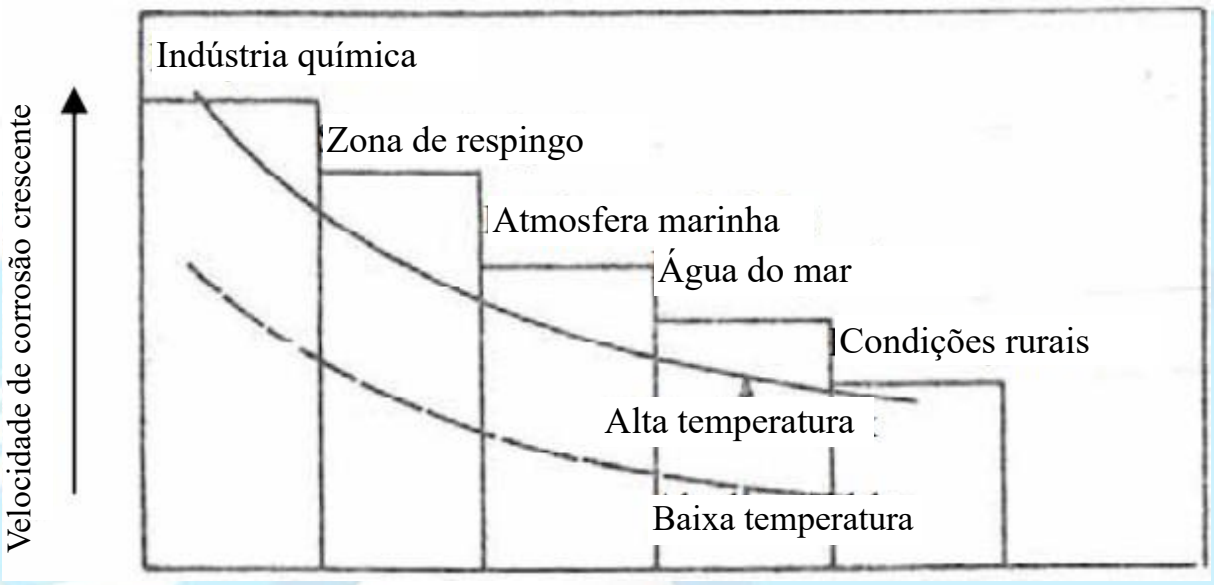


Figura 4: Relação temperatura-corrosão

- **Efeito da precipitação e do vento**

A água é indispensável para que a corrosão atmosférica avance, por isso há uma relação direta entre a precipitação anual e a velocidade de corrosão. No entanto, a frequência e o tempo de secagem são tão importantes quanto a quantidade de precipitação. Por isso, a velocidade e a direção do vento na região também têm papel importante: o vento acelera a secagem e remove a sujeira e a poeira acumuladas na superfície.

Medidas anticorrosão durante o armazenamento e o transporte de produtos semiacabados

Em nossa empresa é usada uma ampla gama de materiais semiacabados. Durante o armazenamento e o transporte desses semiacabados, menores que os produtos acabados, convém adotar uma série de medidas de proteção contra a corrosão. Entre as principais, destaca-se a tecnologia VCI.

Tecnologia VCI (inibidores voláteis de corrosão)

Hoje estão sendo abandonados os métodos antigos de combate à corrosão dos metais (métodos sujos, trabalhosos e caros, como a lubrificação ou o revestimento com cera) e, em seu lugar, usa-se a tecnologia anticorrosão VCI, um método limpo, fácil de aplicar e moderno.

As substâncias químicas especiais dos produtos de embalagem VCI são voláteis. Quando os metais a serem protegidos são envolvidos ou embalados com produtos VCI, essas substâncias se difundem no ambiente e formam uma camada protetora molecular (barreira) na superfície do metal. Essa camada protege o metal com eficácia contra todo tipo de corrosão, pois impede que a umidade, o sal, a poluição ambiental e outras substâncias ativas que podem causar corrosão se fixem na superfície.

Os produtos de embalagem VCI oferecem uma ampla gama para proteção de curto e longo prazo. Com formulações VCI projetadas para diferentes superfícies metálicas, proporcionam proteção superior de 1 a 5 anos quando usados corretamente. Graças à alta concentração de VCI, a fase de vapor de VCI se forma no ambiente de maneira contínua e completa, garantindo uma proteção de qualidade nos embarques de longa duração.

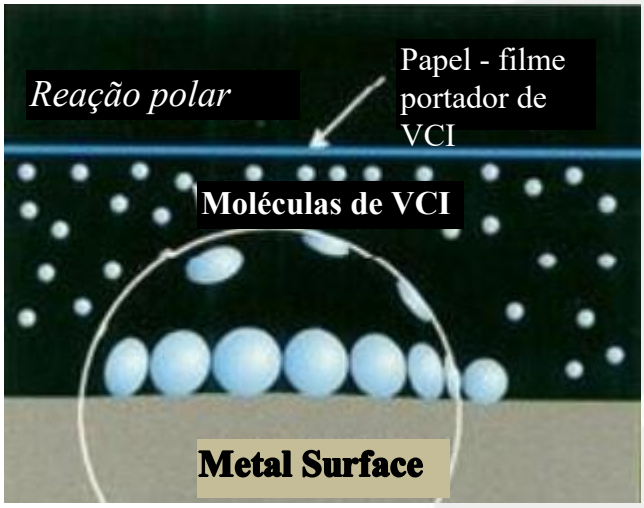


Figura 5: Princípio de funcionamento da tecnologia VCI

Produtos de proteção recomendados

1. Papel VCI (papel oleado)

Por seu custo e facilidade de uso, é um dos métodos de conservação mais destacados no armazenamento e no envio de produtos semiacabados. Esses papéis, comprados em rolos, são cortados e enrolados com facilidade de acordo com o semiacabado a ser armazenado. Oferecem grande proteção contra a corrosão. Estima-se que as empresas concorrentes de engrenagens também usem esse método.



Figura 6: Papel VCI em rolo

2. Filme envolvente VCI

O filme envolvente de polietileno da série VCI protege todos os tipos de metais contra a corrosão durante o armazenamento ou o envio graças a seus potentes componentes VCI (anticorrosivos voláteis) e às suas excelentes propriedades físicas. Elimina a lubrificação, trabalhosa, suja e ultrapassada, e permite enviar as peças metálicas limpas e prontas para uso. Os produtos projetados especificamente para cada aplicação e peça também protegem fisicamente os materiais contra fatores externos graças à sua estrutura. Cobrir com filme VCI o material já envolvido em papel VCI, como proteção adicional, é considerado a solução definitiva para o armazenamento prolongado. Na indústria são feitas aplicações semelhantes.



Figura 7: Cobertura com filme VCI do material envolvido em papel VCI

3. Saco VCI

O saco de polietileno da série VCI protege todos os tipos de metais contra a corrosão durante o armazenamento ou o envio graças a seus potentes componentes VCI (anticorrosivos voláteis) e às suas excelentes propriedades físicas. Elimina a lubrificação, trabalhosa, suja e ultrapassada, e permite enviar as peças metálicas limpas e prontas para uso. Os produtos projetados especificamente para cada aplicação e peça também protegem fisicamente os materiais contra fatores externos graças à sua estrutura. Para reforçar a proteção, o semiacabado envolvido em papel VCI e filme VCI pode ser armazenado em sacos VCI.



Figura 8: Peça metálica protegida com saco VCI

4. Sachês desumidificadores

São usados para eliminar a umidade do ambiente em caso de problemas de umidade e condensação causados por mudanças climáticas durante o armazenamento e o envio, colocando-os nas prateleiras do depósito (kardex) onde os semiacabados são guardados ou dentro da embalagem do semiacabado durante o envio. Podem ser usados como medida adicional contra a corrosão.



Figura 9: Sachês desumidificadores

5. Separadores

O contato entre metais é considerado uma das causas que desencadeiam a corrosão. Os separadores que evitam esse contato podem ser usados para prevenir a corrosão por contato.

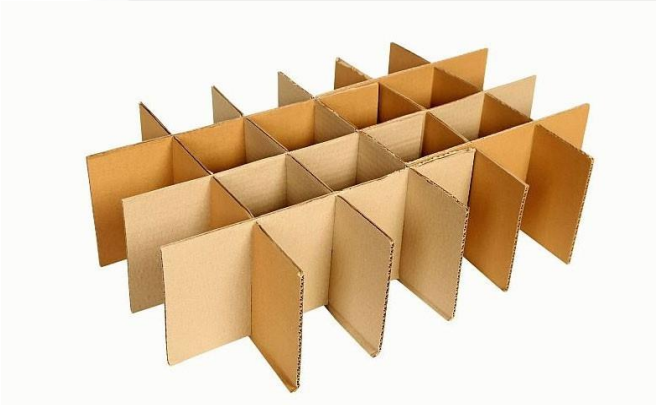


Figura 10: Separador de papelão

Medidas anticorrosão durante o armazenamento e o transporte de produtos acabados

Em nossa empresa é usada uma grande variedade de modelos de produtos acabados. Diferentemente dos semiacabados, os produtos acabados costumam ser mais complexos e contêm semiacabados. O primeiro ponto a considerar é que os semiacabados tenham sido protegidos com sucesso contra a corrosão; caso contrário, não se pode esperar que um produto montado com peças corroídas cumpra sua função. Nesse sentido, surgem alguns problemas na fase de proteção contra a corrosão do produto acabado formado por semiacabados bem protegidos. Por isso, as técnicas de conservação dos semiacabados podem ser insuficientes para os produtos acabados em alguns casos. Para superar esses problemas, são usados vários métodos.

1. Saco VCI

Assim como nos semiacabados, sacos maiores podem ser úteis para os produtos acabados. No entanto, considerando as dimensões e o peso dos produtos, podem ocorrer problemas como o rasgo desses sacos anticorrosão.

2. Filme envolvente VCI

Também, como nos semiacabados, o produto colocado em um saco VCI pode ser protegido adicionalmente com filme envolvente.

3. Isopor

Uma das medidas para evitar que os produtos colocados em sacos VCI e envolvidos em filme rasguem a embalagem, tombem ou sofram impactos é o uso de isopor moldado sob medida. Com essa solução, que pode ser feita com um molde específico para cada produto, evita-se que os produtos se danifiquem ou danifiquem a embalagem com qualquer impacto, especialmente durante o transporte.



Figura 11: Molde de isopor

4. Embalagem a vácuo

A embalagem a vácuo pode ser um dos métodos de conservação adequados por sua aplicabilidade a transmissões menores (tomadas de força), exceto em produtos do tipo Split Shaft ou redutor. Graças às embalagens a vácuo especiais, os produtos isolados do contato físico com o ambiente podem durar mais tempo no armazenamento e durante o envio.

5. Sachês desumidificadores

Como nos semiacabados, durante o envio é possível eliminar a umidade, o fator mais importante que pode causar corrosão, colocando esses sachês junto ao produto embalado ou dentro dele, conforme o caso.

É possível que essas soluções, relativamente fáceis de aplicar, sejam insuficientes em alguns casos extremos (envio de produtos a países tropicais, transporte marítimo de longa distância etc.). Para esses casos, existem vários tipos de medidas anticorrosão usadas por empresas internacionais e observadas por profissionais experientes.

1. Método de retentor de lábio

Este método consiste em encher completamente com óleo protetor uma tomada de força Split Shaft na qual não se preveem vazamentos de líquido, de modo que não haja oxigênio suficiente para ocorrer corrosão. Exemplos desses óleos são Castrol Rustilo 181, ESSO Rust BAN 397 e Valvoline Tectyl 846. No entanto, esse método não pode ser usado em transmissões de grande volume, pois a quantidade de óleo necessária aumentaria e poderia gerar um custo elevado.



Figura 12: Ilustração de exemplo do uso do retentor de lábio

2. Método de vedação de labirinto

Para aplicar este método, a transmissão não pode vazar nem líquidos nem gases. Por isso, recomenda-se usar vedações do tipo labirinto. Diferentemente do primeiro método, a caixa de engrenagens não é totalmente cheia de óleo anticorrosão, mas usa-se um nível de óleo de 5-10%. O princípio de funcionamento consiste em formar uma camada protetora no interior da transmissão pela evaporação contínua do óleo protetor. Como exemplos, podem ser citados os inibidores de corrosão Ashland Oil, Tectyl 859A e Cortec VP.

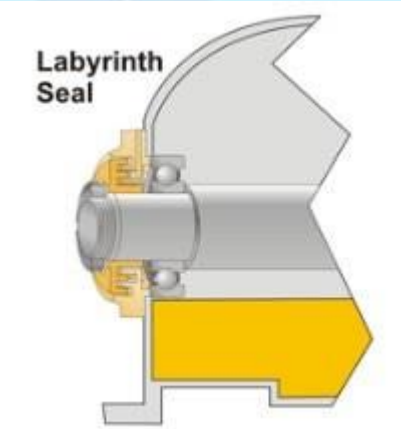


Figura 13: Ilustração do uso da vedação de labirinto

3. Método de névoa de óleo

É um método de conservação que consiste apenas em injetar vapor anticorrosão na transmissão, sem colocar nenhum líquido. É mais caro e difícil de aplicar que os dois primeiros métodos, mas se destaca como uma das soluções definitivas.

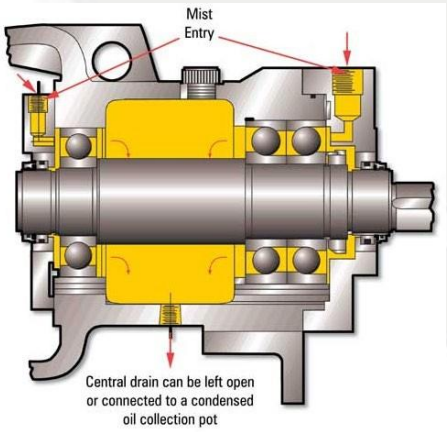


Figura 13: Ilustração de exemplo do uso da névoa de óleo

Pessoas que podem ser consideradas experientes mencionaram essa situação em alguns fóruns na internet.

Elas também propõem soluções semelhantes.

Pergunta de exemplo:

I am interested to know safe (for rust) way of transporting gear box from Europe to India.

During testing of the GB the oil splashes all over the interiors of GB and lubrication happens.
The oil is drained after testing and only a film of oil remains on the internal parts.
Can this film protect the GB from rusting during sea freight from Europe to India (~6 weeks)

We also did a quick testing:
Sample dipped in this GB oil withstood 17 hours of salt spray life (ASTM B117)

The question is: Is it sufficient to protect the GB's internal parts from rusting.

Figura 14: Uma pessoa preocupada com a corrosão das peças internas no envio de transmissões

Resposta:

Depending on time of year especially, your equipment will go through heat/cool cycles and will breath in moisture laden and worse, salt laden air. If the temperatures are low enough, the metal parts will "sweat" internally as well as externally.

My biggest dread and the most damage I experienced when I shipped gearboxes from Europe (via Rotterdam) to the USA was when they were at sea during the coldest months. I have had some pretty rusty stuff show up - stuff that was oily when it left due to having been filled and drained.

Your choice is:

1. Roll the dice and do nothing and with crossed fingers hope that the residual oil will hang in there. It might, but...

2. Coat the internal parts with a preservative or rust preventative that you know will hang in there - probably not doable in a gear box.

3. Completely seal the gearbox so that there can be no possiblity of ingress of moisture/salt laden air. Probably easier said than done. And if doable, then beware of and allow for pressure differences internal to external due to temperature fluctuations.

4. Place dessicant bags in the crates, and wrap the gearboxes as well as possible with moisture proof cloth or paper. And if there is access to gearbox internals, place dessicant bags inside the gearbox with instructions for removal clearly posted on the equipment.

Method 4 was done for the most part with the large gearboxes I imported and it worked reasonably well. Method 2 was used for the individual parts, gears, shafts, pieces parts, etc.

When I had a choice, I tried to time the shipments so that they would be on the north Atlantic during the warmest weather. I had some bad cold weather experiences.

Figura 15: Sugestões para evitar a corrosão

CONCLUSÃO

A corrosão é um dos tipos de desgaste mais difíceis de evitar, mas é um problema que deve ser evitado sem falta. A longo prazo, peças internas enferrujadas e corroídas podem causar danos irreparáveis, como perda de eficiência, deformação dos retentores, vazamentos posteriores e até, no pior dos casos, a perda de engrenagens. Esses danos podem ter consequências indesejadas, desde a perda de qualidade do produto em fases avançadas até a insatisfação e mesmo a perda de clientes. Adotar as medidas necessárias será muito importante para prolongar a vida útil dos produtos acabados e semiacabados após a fabricação e melhorar sua qualidade.