

Copyright 2014, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2014, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2014.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO DE FUNDOS DE TANQUES ATMOSFÉRICOS

E. Lyublinski^a, Y. Vaks^b, T. Natale^c, M. Posner^d, R. Singh^e, M. Schultz^f

Abstract

In Aboveground Storage Tanks (ASTs), corrosion of soil side bottoms and double bottoms is unpredictable and can be up to 5 mm/year. There are multiple tank bottom and foundation designs that address some of the corrosion problems, but can cause other, new, corrosion issues. The soil side of tank bottom plates, especially for larger ASTs, cannot be effectively coated, inspected or retroactively protected while the AST is in service. The typical corrosion protection method - cathodic protection systems (CPS) are not universally effective and a viable alternative is needed. This paper focuses on case studies of soil side bottom corrosion protection using corrosion inhibitors. Once introduced under the AST, volatile corrosion inhibitors (VCIs) by their nature will diffuse into the void spaces under tank bottoms – including the free space between sand/soil particles, and protect the exposed steel bottom plates. The systems can also be retrofitted under tanks in service. This paper will describe test results for a number of VCIs and SCIs that demonstrate efficiencies as high as 70-90% and also exclude pitting corrosion. Field trial and application experience has shown that inhibitor use can increase the anticipated tank service life from approximately 8-10 years to 25-30 years, resulting in greatly reduced maintenance and replacement costs. This paper will also present synergistic systems (SS) that combine VCIs, SCIs and CPS for double bottom corrosion protection.

Keywords: Tanks, bottom plate, soil side, oil, gas, environment, corrosion, inhibitor, cathodic protection, design, efficiency, service life.

Resumo

A corrosão em fundo de base areia/solo e fundo duplo em Tanques de Armazenamento Atmosférico (AST) são imprevisíveis e podem atingir até 5 mm/ano de perda de massa. Há vários tipos de fundo e fundação de tanque que derivam alguns problemas de corrosão, mas podem causar outros ou novos problemas de corrosão. Os fundos de base areia/solo, especialmente, em grandes tanques de armazenamento atmosféricos (AST) não podem ser efetivamente revestidos, inspecionados ou protegidos enquanto os tanques ASTs estão em serviço. O método comum de proteção contra corrosão, como o sistema de proteção catódica (SPC) não atinge por completo toda a superfície de interesse, sendo necessário uma alternativa viável. Este artigo concentra os estudos de caso de proteções contra corrosão de

^a Professor - Vice Presidente & Diretor - Northern Technologies International Corporation, EUA

^b Engenheiro - Northern Technologies International Corporation, EUA

^c Engenheiro - Northern Technologies International Corporation, EUA

^d Doutora - Northern Technologies International Corporation, EUA

^e Engenheiro - Zerust Prevenção de Corrosão S.A., Brasil

^f Engenheiro - Petrobras, Brasil

fundo base areia/solo, com inibidores anticorrosivos. Uma vez introduzido sob o tanque atmosférico (AST), os inibidores voláteis de corrosão (VCI) irão se difundir para o espaço vazio/vapor sob o fundo do tanque, incluindo o espaço livre, entre as partículas de areia/solo, assim, protegendo a chapa em aço do fundo exposto, podendo ser montados sob o tanque em serviço. Este artigo irá descrever os resultados dos testes para um número de VCIs e SCIs que demonstram eficácia de até 70 a 90%, e também excluem corrosão por "pitting". Testes de campo e experiência de aplicação demonstram que o uso de inibidores pode aumentar a vida útil do tanque de 8 a 10 anos para 25 a 30 anos, resultando em grande redução dos custos de manutenção e substituição. Este artigo também irá apresentar os sistemas sinérgicos (SS), que combinam VCIs, SCIs e SPC para dupla proteção contra a corrosão da face externa do fundo do tanque AST.

Palavras-chave: Tanques, chapa de fundo de tanque, base areia/solo, petróleo, gás, meio ambiente, corrosão, inibidor, proteção catódica, projetos, eficiência, vida em serviço.

Introdução

A corrosão do fundo de tanque de armazenamento atmosférico de base areia/solo (*SSB - SoilSideBottoms*) e fundo duplo (*DB - Double Bottoms*) tem sido um grande problema em todo mundo. Na maioria dos casos, o tipo de tanque SSB e DB (Figura 1) criam as seguintes áreas problemáticas de corrosão:

- Fundos de tanques novos, face externa;
- Fundos antigos, face externa;
- Fundos novos, na camada da solução aquosa sedimentar (SAS), a partir do lado/face interna do fundo da chapa metálica, onde se encontra o produto armazenado, e;
- Fundos novos, areia/solo úmido contendo diferentes concentrações de compostos inorgânicos.

Em muitos casos, as condições do ambiente e aplicação são imprevisíveis e a corrosão da face interna em fundo de tanque base solo/areia (SSB) e de fundo duplo (DB), também pode ocorrer, quando:

- Vazamento em fundo velho;
- A camada de polímero está danificada ou se torna permeável à água, e;
- Fundo duplo (DB) não está selado ou os tubos ficam abertos para a detecção de vazamentos.

As questões a seguir estão associadas com corrosão SSB e DB:

- Vazamento causa perda de produto armazenado;
- Vazamento grave impacto ambiental, que requer atividade de limpeza e possibilidade de multa, entre outros custos;
- Podem ocorrer condições inseguras de operação devido à natureza volátil ou inflamável do produto vazado;
- Monitoramento e inspeções resultam em perda de tempo de produção em tanques AST, e;
- Substituição do fundo de tanque AST faz-se necessário quando a espessura da chapa do fundo diminui em até 2 mm.

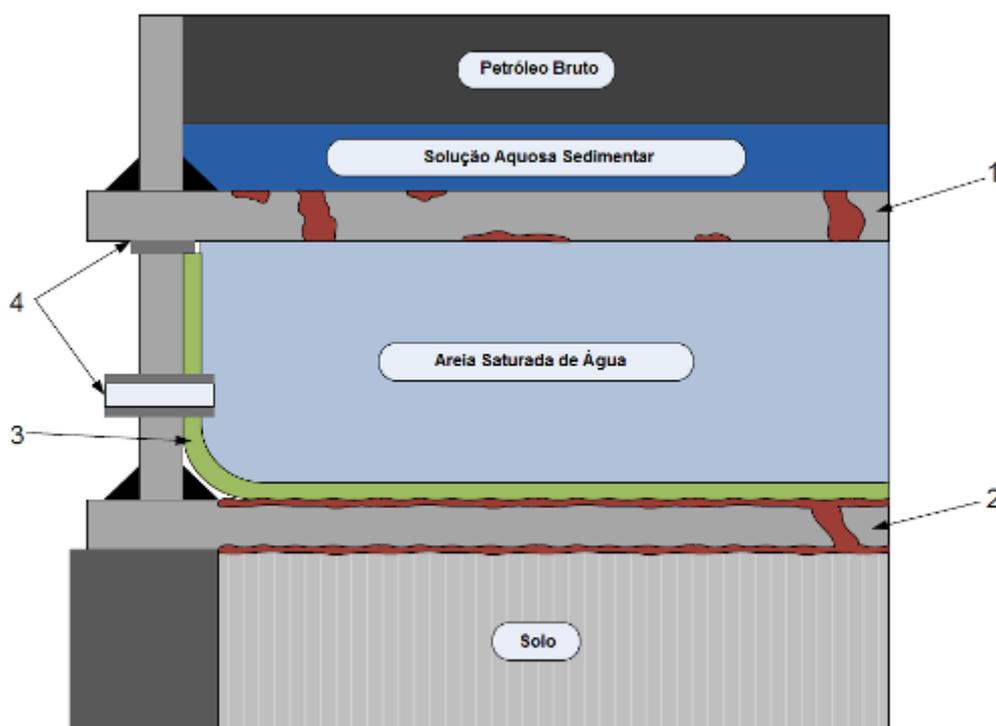


Figura 1–Esquema do Projeto de Tanque AST SSB e DB e Corrosão. 1-Fundo Novo, 2-Fundo Velho, 3-Camada Polimérica, 4-Junta e Tubo para Detecção de Vazamento

Em função desses tipos de problema nas indústrias de petróleo e gás, os custos relacionados com a corrosão são muito elevados. Exemplos destes custos são mostrados na Tabela 1. Não estão listados os custos relacionados à contaminação ambiental (atmosfera e solo). No entanto, é preciso entender que esses custos muitas vezes podem exceder em muito, com os listados na tabela.

Tabela 1–Custo Estimado Relacionados à Corrosão para Tanques de Armazenamento de Petróleo(Baseado em tanques AST, com diâmetros de 30 a 55 m)

Parâmetro Base	Nível Estimado
Frequência de Substituição, Anos	7-12
Inatividade por Substituição, Meses	6-24
Inatividade da Substituição (% da vida do tanque)	Até 20
Custos Estimados para Substituição (USD X 1,000)	200-500
Custo de Perda de Oportunidade Produtiva (USD X 1,000)	400-1100

As novas tecnologias VCI, isoladamente, ou em combinação com outras tecnologias conhecidas como, por exemplo, Proteção Catódica podem ser instalados em tanques de armazenamento novos ou existentes. O tempo médio de instalação depende do tamanho do tanque e do sistema de proteção selecionada, podendo variar de alguns dias a várias semanas.

As condições de projeto, ambiente e de aplicação dos tanques ASTs, com fundo SSB e DB, muitas vezes, excluem a possibilidade do uso de tecnologias de proteção anticorrosiva

existentes, tais como: revestimentos ou proteção catódica, para alcançar a eficiência desejada e vida útil do tanque, por exemplo:

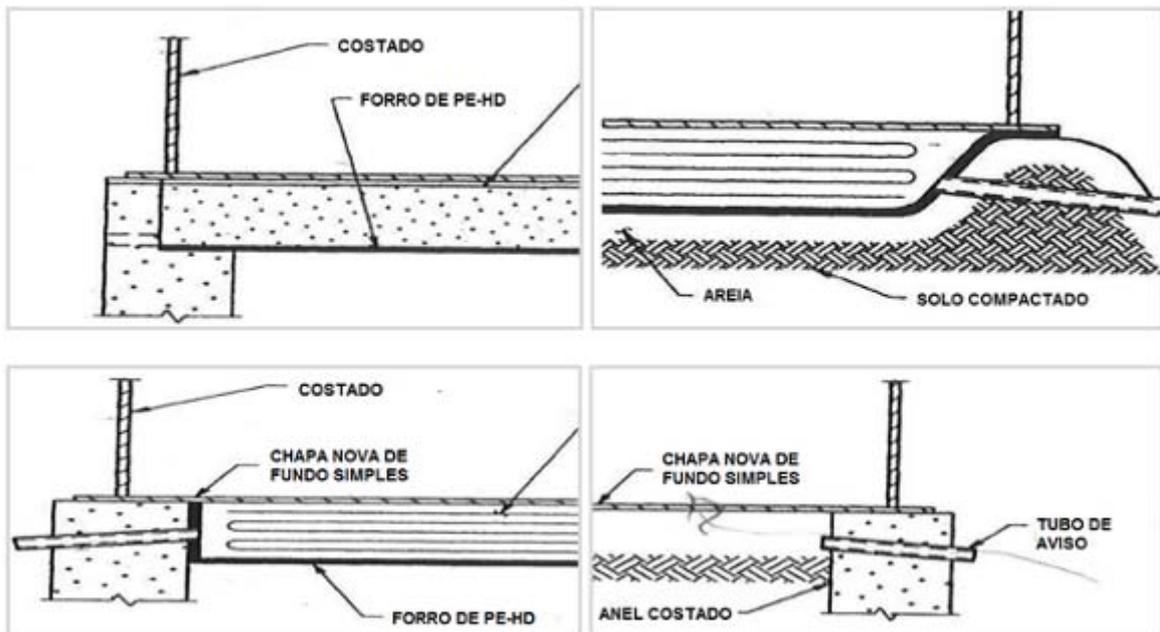
- Revestimentos tem uma vida útil imprevisível ou são inaplicáveis. Sua eficácia não pode ser monitorada e a substituição pode ser muito demorada. Se um revestimento for aplicado, o mesmo pode levar a um aumento da corrosão por "pitting" e/ou frestas.
- O SPC (corrente galvânica ou impressa) isolado ou em combinação com inibidores solúveis de corrosão são eficazes apenas na areia completamente saturada, e onde a areia/eletrolito está em contato com o metal. Em todos os casos, o SPC deve ser projetado de modo a que a sua vida útil seja aproximadamente igual a do tanque. Em alguns casos o SPC não é aplicável.

Os fatores acima mostram a importância da criação de uma solução de proteção eficiente contra a corrosão de longo prazo.

Projeto SSB e DB

Na maioria dos casos, o projeto de fundo SSB de DB (Figura 2) causa problemas de corrosão:

- Corrosão ocorre a partir da face externa ou lado em contato com o solo/areia, e na face interna, do lado do produto pela sedimentação da solução aquosa (SAS) do petróleo bruto armazenado;
- Vazamento pode acontecer através do revestimento, se tornando de difícil detecção;
- A vida útil de betumes e do revestimento são imprevisíveis e sua utilização não pode garantir a vida útil de serviço exigido;
- O projeto faz com que seja extremamente difícil à aplicação de muitas soluções de proteção contra corrosão, e muitos sistemas de proteção contra corrosão podem ser aplicados somente durante a construção do tanque.



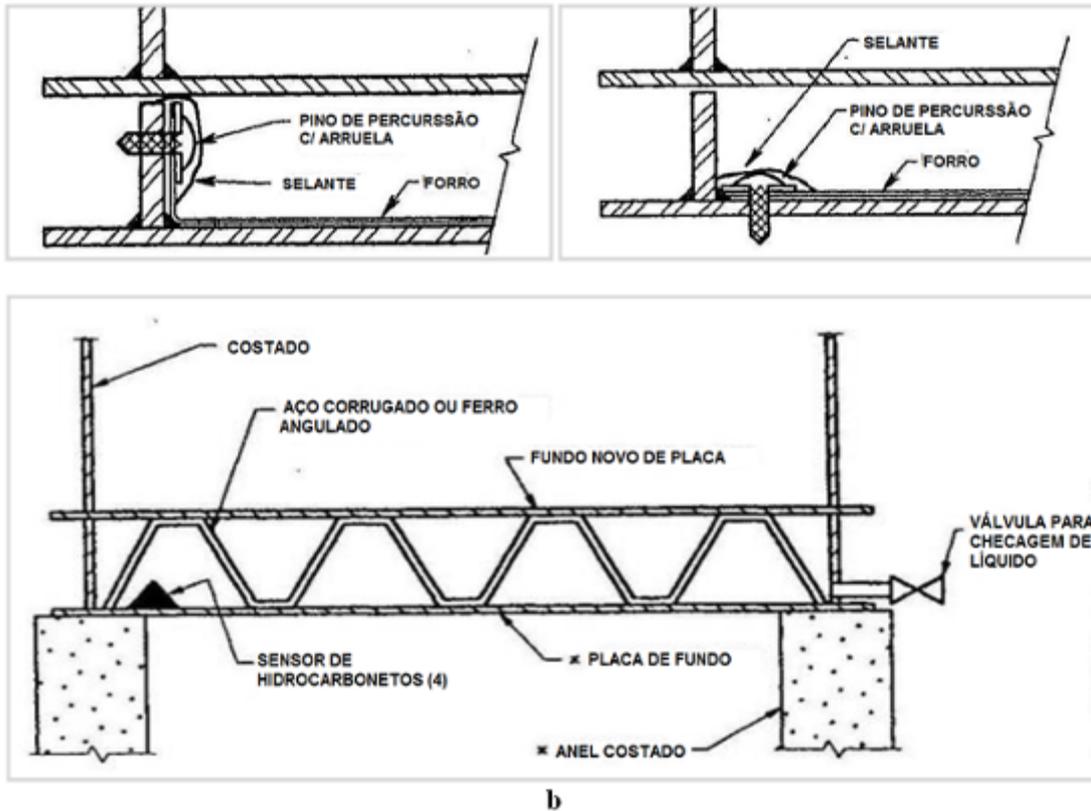


Figura 2 –Exemplo de Projetos de Fundo SSB (a) e DB (b)

Ambiente Corrosivo

Os seguintes fatores devem ser considerados, em relação ao ambiente corrosivo de fundo SSB e DB:

- O fundo está totalmente selado e/ou há tubos abertos para a detecção de vazamentos?
- O fundo está preenchido com areia limpa e seca?
- Como a areia se tornou corrosiva?
 - Inicialmente, a corrosão é devida a penetração de contaminantes atmosféricos;
 - Depois, como resultado da contaminação do meio circundante, uma concentração de contaminação pode ocorrer.
- Quais são o tamanho, localização e frequência de bolsas de ar na areia que está contra a chapa de fundo?

A corrosividade do ambiente em fundos SSB e DB também vai depender da sua localização:

- Existem condições que levam a condensação da umidade atmosférica - umidade relativa (até 100%) e ciclos diários de temperaturas (ex., temperatura do ar a partir de -10 a +55 °C);
- O vapor d' água pode entrar sob o fundo através das lacunas, entre o anel de contenção de areia e placa de fundo e, também, através das tubulações de inspeção de vazamento (Figura 2);
- Em alguns casos, o vapor d' água condensado pode saturar completamente a areia nas regiões inferiores;

- Esta umidade é derivada da atmosfera externa, que contém os mesmos contaminantes, como mostrado na Tabela 2;
- Com o tempo, a evaporação ocorre e a umidade (com contaminantes) se infiltra, tornando a concentração mais elevada do que no meio externo.

Tabela 2 –Exemplos de Concentrações Contaminantes Corrosivos Atmosféricos - Níveis Padrão Médio

Localização	Concentração de Contaminantes, $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Cl	SO ₂	H ₂ S
Rural	~0,3	~0,04	~0,07
Industrial	~1	0,5 - 2	~0,2
Urbano (Cidade Grande)	~1	0,5 - 2	~0,05
Costeiro & <i>Offshore</i>	10 a 30	~0,2	--

A presença de espaços de vapor na camada de areia pode afetar o fundo corroído (Figura 3). Estas depressões localizadas podem se formar com:

- Flexão do fundo do tanque durante operações de recarga, e;
- Deslocamento de areia quando o fundo novo flexiona.

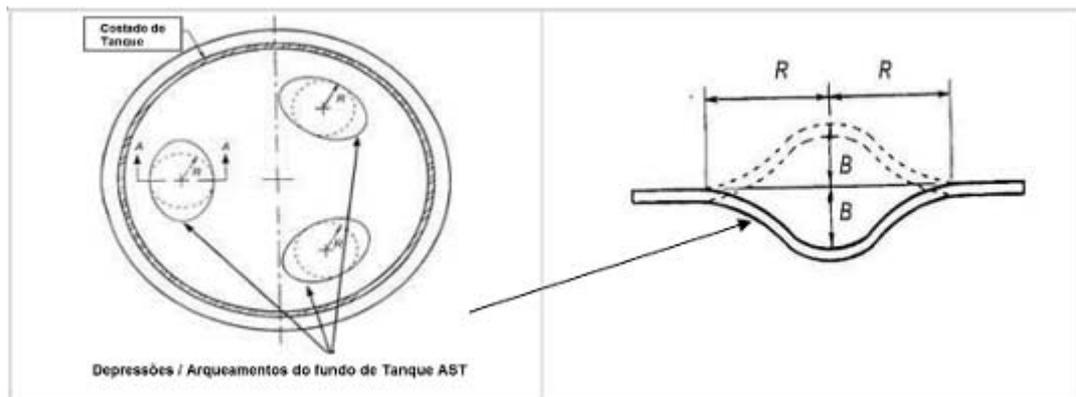


Figura 3 –Localização de Depressão e Arqueamento do Fundo de Tanque AST

Quando isto ocorre, a ação corrosiva pode existir em ambientes gasosos e líquidos, ao mesmo tempo. Além disso, o aumento da concentração de H₂S e SO₂ podem conduzir as condições ácidas na areia saturada e líquido condensado sobre a nova base, com decréscimo do valor do pH de 7 a 8 para 4 a 5.

Formas e taxas de corrosão

Conforme a Tabela 3, as taxas de corrosão podem variar amplamente dependendo: da composição do meio, da concentração de contaminantes, do pH da solução aquosa e da camada de condensado e condições de aplicação.

Tabela 3–Típicas Formas e Taxa de corrosão Observadas em Aço Carbono

Ambiente	Taxa de Corrosão (mm/ano)		
	Média	Pitting	Fresta
Areia Saturada de Água	0,1 - 0,5	0,4 - 5,0	0,3 - 2,2
Espaço Vapor	0,05 - 0,3	0,4 - 1,6	0,5 - 4,0

As espessuras das chapas de fundo de tanque SSB e DB podem variar de 6 a 12 mm. A espessura mínima permitida é de 2 mm. Embora a corrosão uniforme não seja geralmente um problema significativo, corrosão geral pode resultar na necessidade de substituição do fundo, após, 5 a 10 anos.

O mecanismo de corrosão primário que contribui para falhas de fundo de tanque AST, é a corrosão por "pitting". A força motriz da corrosão por "pitting" é a concentração de contaminantes no ambiente, tais como: Cl^- , S^{2-} e SO_4^{2-} . Corrosão por Frestas, que ocorre devido à difusão limitada de oxigênio para as superfícies de metal ativadas por ânions, também é um fator. Na presença de S^{2-} , os níveis de O_2 podem ser completamente esgotados, proporcionando condições favoráveis para a corrosão por "pitting". Em ambientes mais agressivos, vazamentos em fundo de tanque causadas pela corrosão por "pitting" podem ocorrer em menos de 5 anos.

Novos Sistemas de Proteção Contra Corrosão

Muitos tanques com fundo simples e a maioria dos tanques de fundo duplo não possuem proteção contra corrosão, e aqueles que empregam as tecnologias tradicionais de proteção contra corrosão, como SPC corrente galvânica ou impressa e revestimentos internos e forros. Na melhor das hipóteses, estes sistemas funcionam apenas periodicamente, destacando assim, a necessidade de criar, uma solução eficiente de proteção contra corrosão de longo prazo. Os novos sistemas de proteção utilizam VCIs para fornecer proteção contra corrosão.

Sistemas de Distribuição e Alimentação de VCI

Sistema de Anel Seco

O sistema de anel de seco pode ser aplicado para proporcionar proteção contra corrosão de fundo de tanques novos e existentes, e podem ser implementados sem necessidade de parada do tanque. Conforme abaixo temos, a composição do sistema de anel seco:

- Um conjunto de tubos perfurados são colocadas em torno da região perimetral do tanque;
- Uma membrana de vedação é aplicada sobre o tubo perfurado, e;
- O tubo perfurado é preenchido com mangas inibidoras em pó seco, através de portas que são periodicamente repostas no conjunto de tubos.

A ação de respiração do fundo do tanque irá puxar o VCI ao longo dos espaços vazios sob o fundo do tanque, assim proporcionando proteção contra corrosão para as áreas do tanque, que normalmente sofrem as maiores taxas de corrosão. O VCI pode ser reabastecido a qualquer

momento, sem necessidade de interrupção operacional do tanque. Conforme Figura 4, temos o croqui esquemático representando o sistema de anel.

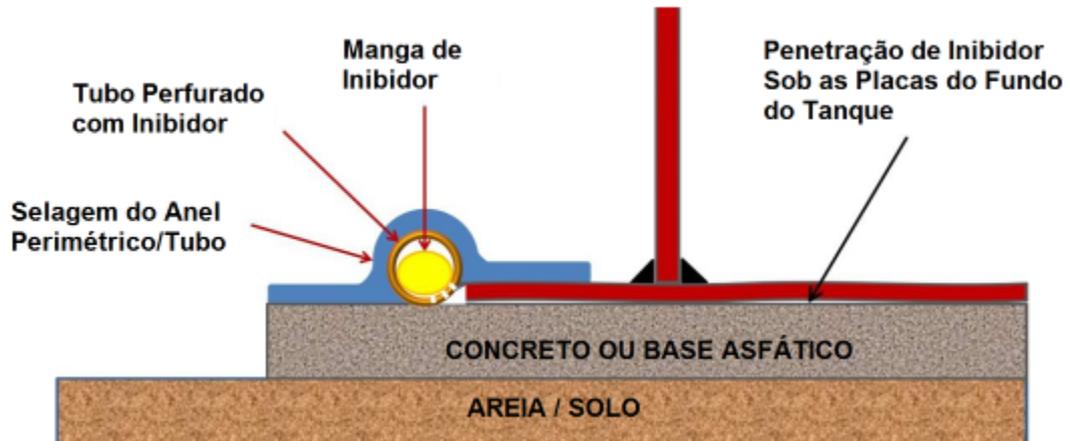


Figura 4–Croqui do Sistema de Anel Seco

Sistema de Mistura do Leito de Areia

O sistema de mistura do leito de areia pode ser aplicado para proporcionar proteção contra a corrosão para tanques com fundo novo, ou tanques que receberam um fundo duplo (o fundo do tanque deve ter uma camada externa de areia/solo). Inibidor em pó é introduzido no leito de areia, correspondente a área SSB, misturando-o a areia ou pela colocação de pacotes respiráveis no leito de areia antes da instalação das chapas do fundo do tanque. O anel perimetral do tanque é selado para minimizar a perda de vapor de inibidores e para reduzir a entrada de novos contaminantes e umidade. Este sistema irá fornecer proteção contra corrosão instantaneamente sobre toda área superficial do fundo do tanque. Este sistema não é renovável e terá uma vida de serviço determinada. (A vida útil vai depender das condições ambientais.) A vida de serviço pode ser entendida, através da aplicação em combinação com o sistema de anel seco. Conforme a Figura 5, temos o croqui do sistema de mistura de camada de areia.

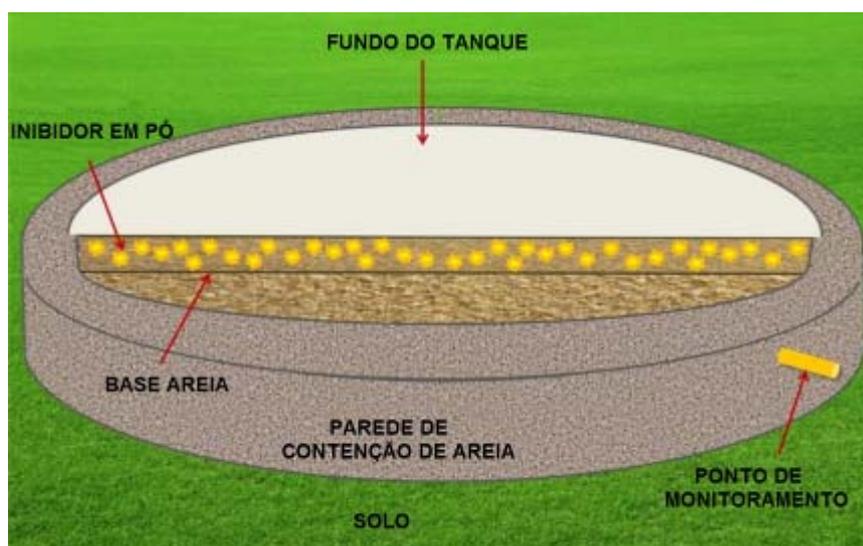


Figura 5 –Esquema do Sistema de Mistura do Leito de Areia

Sistema de Enchimento Interno

O sistema de enchimento interno irá fornecer proteção contra corrosão para os tanques com o fundo novo ou fundo duplo. Para este método, um sistema de tubos perfurados é instalado no leito de areia, antes da instalação das chapas do fundo do tanque. O líquido inibidor é distribuído ao sistema de tubos através de um único ou vários pontos de entrada de injeção, localizados na parede do anel perimetral do tanque, após a construção do tanque estiver completada. A injeção é normalmente feita através de alimentação por gravidade para garantir o completo controle de fluxo e pressão. Vapores VCI são gerados pela pasta líquida que migram para cima, através da areia para a superfície de fundo SSB do tanque. A região perimetral do tanque é selada para minimizar a perda de vapores inibidores e para proteção contra a entrada de novos contaminantes e umidade. A ação de respiração do tanque ajuda a acelerar o movimento de vapores de inibidores, através de espaços vazios sob o fundo do tanque. O inibidor pode ser facilmente reabastecido por injeção de nova pasta de inibidores.

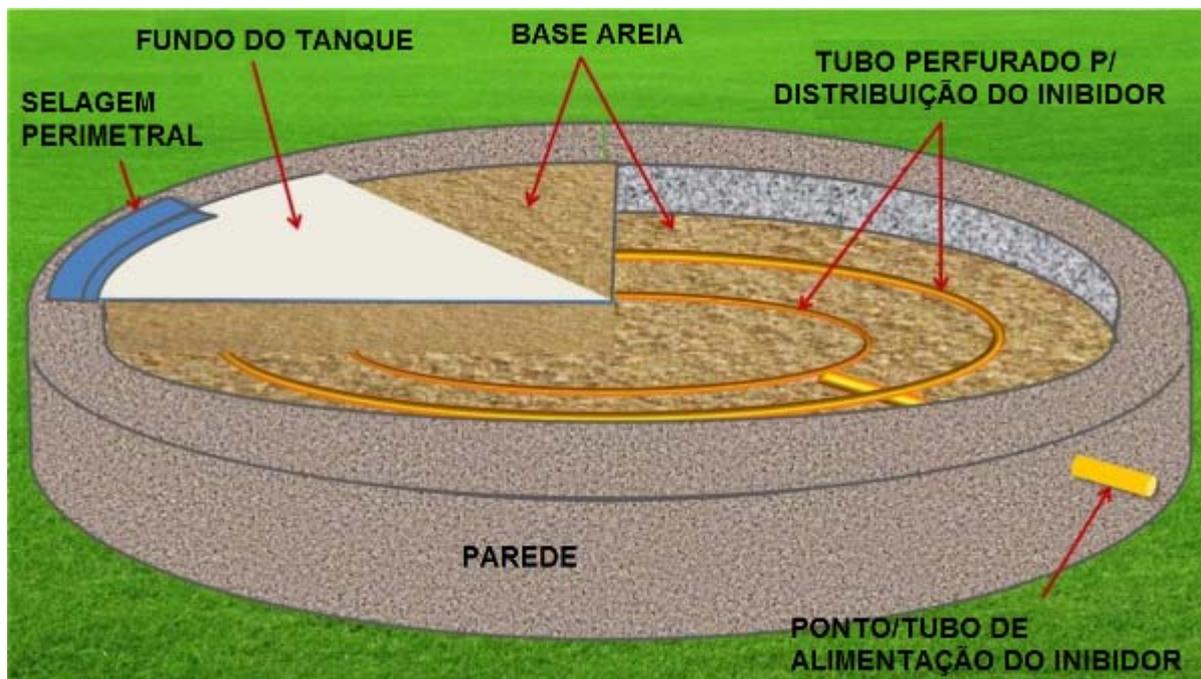


Figura 6 –Exemplo do Sistema de Enchimento/Alimentação Interna com Ponto de Injeção

Metodologia

Testes Experimentais

Teste experimental foi executado com objetivo de verificar a eficácia de proteção contra corrosão do sistema VCI, sob um tanque de fundo duplo. Os tipos de corrosão que mais predominantemente afetam o fundo dos tanques de armazenamento atmosféricos são a corrosão por "pitting" e uniforme. Inicialmente, a corrosão uniforme é a mais predominante. Ação da corrosão por "pitting" frequentemente aumentam com o tempo, sendo dependente do meio e da profundidade do "pitting". A utilização de inibidores de corrosão foi proposta para reduzir a ação de ambos os tipos de corrosão.

A eficácia dos inibidores de corrosão foi determinada pela comparação das taxas de corrosão dos cupons de prova em aço, instaladas na areia do fundo do tanque duplo (DB), para ambos os tanques (Figura 7).

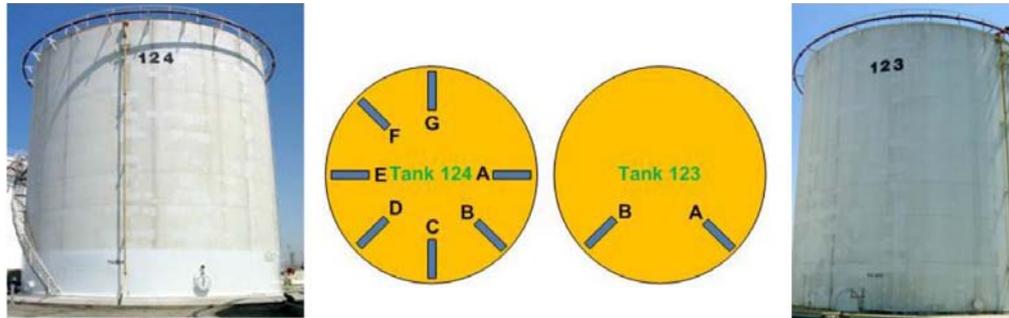


Figura 7 –Localização dos Cupons de Prova em Aço Inseridos na Areia do Tanque Teste (124) e Controle (123) No início do teste, os inibidores de corrosão foram misturados na areia do tanque (Teste) com fundo duplo (DB).

Os cupons de prova em aço foram inseridos através de tubos posicionadores (ver Figura 7) na areia (DB). Na Figura 8 temos os resultados do teste, após 9 e 53 meses. Não foi observada corrosão por "pitting" nos cupons de prova do tanque Teste (com inibidor), enquanto que a taxa de corrosão por "pitting" nos cupons de prova do tanque Controle (sem inibidor) estão mostrados conforme o gráfico (Controle P).

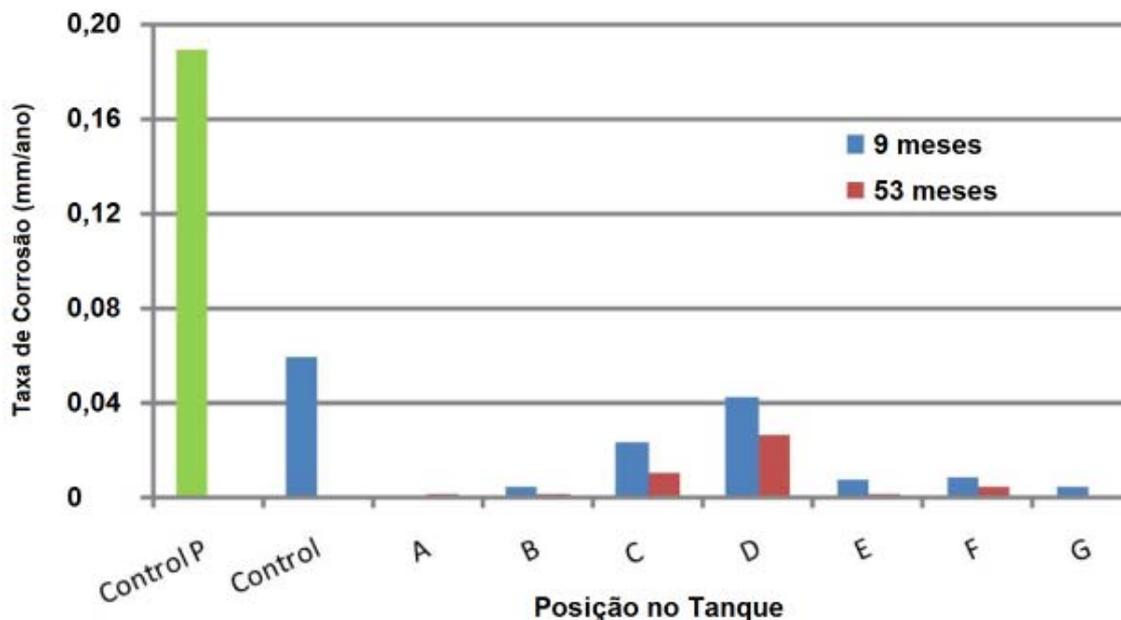


Figura 8 –Taxa de Corrosão nos Cupons de Prova Metálicos

Os resultados dos testes mostram que os inibidores de corrosão proporcionaram proteção da superfície metálica do fundo do tanque, com uma redução de aproximadamente 4 vezes, na taxa média de corrosão. Ao comparar as taxas de corrosão por "pitting", o inibidor proporciona uma redução de perda de massa metálica, tanto quanto 10 a 13 vezes menor. Além disso, este ensaio demonstra que o sistema inibidor proporciona proteção contínua, com baixas taxas de corrosão, superiores 4 a 5 anos, após a aplicação dos inibidores.

Sistema Combinado (VCI em combinação com SPC)

Muitos tanques de armazenamento atmosférico possuem um Sistema de Proteção Catódica (SPC) instalado para fornecer proteção do fundo tipo SSB. Um SPC (galvânica ou corrente impressa) é eficiente apenas em areia completamente saturada e onde a areia e o eletrólito estão em contato com o metal. O VCI pode ser somado neste tipo de fundos de tanques para proporcionar proteção contra corrosão, quando o SPC está em trabalho, porém não alcançando totalmente a superfície a ser protegida.

Montagem do Experimento

Foram presumidas as piores condições no espaço de vapor e areia saturada de água no fundo SSB e DB, para realização do teste (Tabela 4).

Tabela 4 – Seleção do Teste com Corrosão Ambiente em Tanque AST-DB

Ambiente Corrosivo:	Concentração de Contaminantes		Parâmetros Principais	
	g/L			
	H ₂ SO ₃	NaCl	UR (%)	pH
Espaço Vapor	Vapor do Eletrólito		100	--
Eletrólito*	1,25	30	--	4
	--		--	7

*O mesmo eletrólito usado na areia

É necessário observar os seguintes parâmetros:

- Em ambientes gasosos, a corrosividade dependerá do pH de condensados, onde a faixa é normalmente entre 4 a 8.
- A solução aquosa (isolada ou na areia saturada) pode ser muito agressiva com um pH, tão baixo quanto 4.
- Algumas composições do inibidor podem elevar o pH para 9 a 10. Isto vai diminuir a taxa de corrosão e deve ser tomado em consideração, quando combinado com os métodos de proteção contra corrosão.

Testes simples foram utilizados para examinar vários compostos VCI e SCI e suas combinações para proteção contra corrosão no meio: imersão, multifásico e em espaço vapor (17). Inibidores com maior eficiência e eficácia foram selecionados para a próxima fase do teste.

A próxima fase do teste foi realizada utilizando-se um potenciostato e células eletroquímicas, sendo comparado a eficiência de proteção catódica do aço carbono em soluções aquosas e areia saturada com e sem inibidor (deslocamento potencial da proteção catódica (-ΔE) de 100

e 200 mV₂, 18, 19). Os testes foram realizados durante 30 dias a temperatura ambiente. A eficiência de proteção contra corrosão foi determinada pela perda de massa.

Resultados e discussão

Conforme a (Tabela 5) temos um resumo dos resultados dos testes, que mostra em muitos casos (valores em destaque), um sistema de proteção avançado contra corrosão atingindo uma eficácia desejada de 80%, com aplicação de 100-mV no deslocamento do potencial catódico. Isso corresponde com a NACE e padrões internacionais. No entanto, na maioria dos casos, o uso do SPC com inibidores reduz a densidade de corrente requerida para se obter o deslocamento potencial necessário, de 2 a 5 vezes (a partir de 120 a 200 para 30 a 100 mA/m²). Além disso, esta solução oferece proteção contra corrosão em espaços de vapor quando a proteção catódica se anula nessas condições.

Tabela 5–Eficiências de Proteção para Sistema Combinado de Proteção Avançada em Ambientes Líquidos e Gasosos

Solução Contaminante	SCI + VCI *	Eficiência de Proteção (%)		
		No Eletrólito*** A -ΔE (mV)		No Espaço Vapor
		100**	200**	
3% NaCl (pH 7*)	Controle	64	84	0
	SV1	44	67	70
	SV2	81	85	81
	SV3	80	86	92
	SV4	77	81	85
	SV5	83	84	82
	SV6	66	82	94
3% NaCl + 0,125% H ₂ SO ₃ (pH 4*)	Controle	45	66	0
	SV1	61	72	80
	SV2	41	66	91
	SV3	48	81	83
	SV4	70	84	77
	SV5	81	87	84
	SV6	60	76	72

O sistema combinado de proteção contra corrosão é demonstrado conforme a Figura 4, utilizando inibidores VCI em combinação com PC.

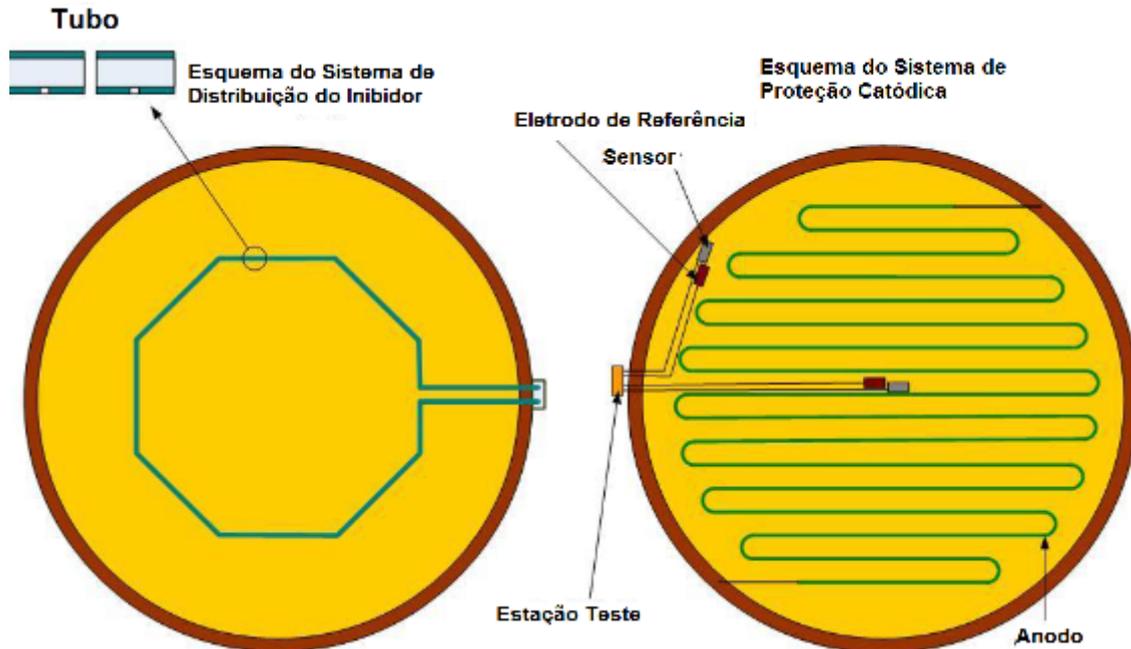


Figura 9 – Sistema Combinado de Proteção Contra Corrosão da Superfície Interna do Tanque AST-DB.

As características do sistema de proteção combinado incluem:

- **VCI:** Para fornecer proteção da superfície metálica no espaço de vapor;
- **SPC:** Para fornecer proteção da superfície metálica em contato com a areia saturada de água, e;
- **SCI:** Para fornecer proteção adicional da superfície metálica, quando em contato com a areia saturada de água.

Este sistema de proteção contra corrosão proporciona as seguintes vantagens:

- Alta eficiência e eficácia, com baixo custo. O VCI irá trabalhar nos espaços de vapor e interstícios onde SPC não pode atuar.
- Uso de SCI diminui a densidade de corrente de proteção necessária e o número de ânodos.
- SPC reduz a concentração de inibidores necessários para manter a eficiência requerida.
- O custo global do sistema combinado é normalmente menor do que, quando uma das tecnologias é aplicada, isoladamente.
- A eficiência necessária e a vida útil podem ser obtidas por reabastecimento periódico dos inibidores.
- No caso de alterações do ambiente, as formulações e/ou concentrações SCI e VCI pode ser modificado em conformidade.

Temos conforme a seguir, os requisitos para a implementação deste sistema:

- Proteção Catódica, Sistema de Liberação dos Inibidores e Monitoramento / Teste devem ser instalados apenas em tanques novos, ou antes, que o novo fundo de tanque seja substituído.
- Cargas Iniciais de Inibidores são misturadas com a areia, durante a instalação, ou um sistema especial com inibidores deve ser instalado acima da camada polimérica.
- O monitoramento periódico do sistema e reposição de inibidor é necessário.

Conclusões

1. A corrosão de fundo de tanque tipo base areia/solo (SSB) e de fundo duplo (DB) é um problema mundial que diminui o tempo de funcionamento dos tanques por cerca de 10%.
2. O custo da corrosão para um tanque com diâmetro de 55 m –com paralisação ou interrupção da operação do tanque necessário para a substituição do fundo –, é cerca de US\$ 1,2 milhões, sendo frequentemente realizada a cada 7 a 12 anos.
3. Os novos sistemas de proteção contra corrosão usando VCIs foram desenvolvidos para proporcionar proteção de fundo de tanque de armazenamento atmosférico tipo SSB.
4. Os novos sistemas de proteção contra corrosão foram desenvolvidos para tanque de armazenamento atmosférico tipo SSB, com fundos novos ou existentes.
5. Os novos sistemas de proteção contra corrosão, que incluem VCIs isolados e em combinação com a PC, foram avaliados quanto à sua eficiência e eficácia em ambientes neutros e ácidos.
6. Parâmetros e critérios foram definidos para os sistemas de proteção avançado, que proporcionam eficiência esperada superior a 80%.

Referências bibliográficas

- (1) Aboveground Storage Tanks; P.E. Myers; New York, McGraw-Hill, 1997.
- (2) Handbook of Corrosion Engineering; Pierre R. Roberge; New York, McGraw-Hill, 1999.
- (3) Handbook of Corrosion Protection; W.Baeckman, etc; Houston, Gulf Publishing Company, 1997.
- (4) Uhlig's Corrosion Handbook; R. Winston Revie; New York, John Wiley & Sons, Inc., 2000.
- (5) Corrosion Inhibitors. Principles and Applications; V. S. Sastri; New York, John Wiley & Sons, Inc., 1998.
- (6) Organic Inhibitors of Corrosion of Metals; Y.I. Kuznetsov; New York and London, Plenum Press, 1996.
- (7) Corrosion Protection of Tanks and Ballast Cisterns of Tankers; N.N. Bibikov, E.Y. Lyublinski; S. Petersburg, Rumb, 1977.
- (8) Corrosion and Protection of Ships. Handbook; E.Y. Lyublinski, V.D. Pirogov, S. Petersburg, Sudostroenie, 1987
- (9) Corrosion Protection of Refinery Equipment; V.V. Burlov, A.I. Alcibeeva, I.V. Parputz; S. Petersburg, Chimisdat, 2005.
- (10) Combined Corrosion Protection Methods Including Inhibitors; Reviews of Corrosion Inhibitor Science and Technology, volume 34, E.Y. Lyublinski, D.A. Kubik; Houston, NACE, 2004. P4-1/4-18.
- (11) Storage Tank Bottom Protection Using Volatile Corrosion Inhibitors; A. Gandhi; Cortec Corporation; Supplement to Materials Performance, January 2001.
- (12) Storage Tank Protection Using Volatile Corrosion Inhibitors; Boris A. Miksic, Alla Y. Furman, Margarita A. Kharshan, Tim Whited; 11th MECC, 2005.
- (13) Corrosion Inhibitors, C.C. Nathan, Houston, NACE International, 1973.
- (14) Corrosion Inhibitors, I. L. Rozenfeld, New York, McGraw-Hill, 1981.
- (15) Corrosion for Everybody, A. Groysman, New York, Springer, 2009.

- (16) Corrosion Protection of Mothballed Equipment Vapor Spaces, E. Lyublinski, Y. Vaks, T. Natale, M. Posner, W. Rohland, S. Woessner, R. Singh, H. Souza Siriaco, EUROCORR 2013.
- (17) Corrosion Inhibitors for Long-Term Protection of Enclosures, E. Lyublinski, T. Natale, W. Roland, S. Woessner, NACE 2013
- (18) NACE Standard-C2012-0001642; 100mv Cathodic Protection Criterion-Using Of "Instant-on" Potential in ICCP of New Structures.
- (19) Cathodic Corrosion Protection, Third Edition, W. Baeckman, W. Scxhwenk, W. Prinz, 1997.