NOVACAP
COMPANHIA URBANIZADORA DA NOVA CAPITAL DO BRASIL

DIRETORIA DE URBANIZAÇÃO

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE REVESTIMENTO DE CHAPAS CORRUGADAS PARA GARANTIA DA DURABILIDADE DE GALERIAS E BUEIROS METÁLICOS

INTRODUÇÃO

Esta especificação define os critérios que orientam o revestimento das chapas metálicas utilizadas em galerias e bueiros, executadas pelo método não destrutivo, utilizando o processo Túnel Liner, sob a jurisdição da NOVACAP/DU.

O Túnel Liner

O “TÚNEL LINER PLATE” tem por característica a execução pelo processo não destrutivo, sem causar interferência com a superfície do terreno que se estiver atravessando. Neste processo são utilizadas chapas de aço de exclusiva industrialização da ARMCO DO BRASIL.

Cada uma das chapas tem dois flanges com furações, um em cada extremidade circunferencial, que permitem por meio de parafusos, dar uma continuidade na montagem no sentido longitudinal da estrutura, unindo-se por justa posição uma chapa a outra. Para completar no sentido circunferencial um anel da estrutura, em uma das extremidades de cada chapa existe um rebaixo que facilita o encaixe na chapa seguinte, na ordem de montagem. Este rebaixo da uma continuidade da corrugação, não prejudicando assim, a resistência estrutural.

A largura de cada chapa é de 0,457m e, o comprimento útil é de 1,264m o que permite o seu manuseio com muita facilidade.

Considerando – se que a largura da chapa é de 0,457m a montagem da estrutura é feita em segmentos desta largura e consequentemente este avanço não apresenta dificuldade executiva.

Com este processo, a montagem da estrutura é feita com rapidez, sem nenhum risco e da maneira econômica possível.

Os tubos metálicos corrugados têm sido utilizados como galerias de drenagem ou bueiros de águas pluviais em estradas desde 1896.

Em sua primeira fase de desenvolvimento, muitas galerias eram de aço, sem qualquer revestimento.

Entretanto, em alguns anos percebeu-se a necessidade de utilização de revestimento para proteção contra a ação da corrosão.

O revestimento de zinco foi padronizado em 1912, porém ao longo dos anos encontraram-se condições nas quais já o aço galvanizado não oferecia a duração desejada.

A partir de 1926 aplicou-se revestimento adicional de asfalto nos bueiros galvanizados buscando aumentar a vida útil desejada.

Com o passar do tempo descobriram-se outros problemas, que permitiram ampliar o conhecimento sobre a corrosão.

Com o aumento contínuo do conhecimento e desenvolvimento de soluções práticas, os problemas de durabilidade tem diminuído bastante em sua magnitude.

O problema analisado aqui é principalmente o da deterioração precoce de galerias e bueiros de aço galvanizado observada em situações distintas na América do Sul, e particularmente no Brasil. Os problemas foram levantados no princípio dos anos 70, na região amazônica.

Um extenso estudo sobre corrosão foi concluído no Brasil em 1981 pelo Departamento de Pesquisas as Armco, em conjunto com uma equipe se especialistas brasileiros. Seguiram-se estudos em outros diversos países como a Colômbia, Venezuela, Equador, Peru, e Chile.

O resultado foi um aumento significativo do conhecimento, um melhor entendimento da composição química da águas e o efeito da corrosão nos bueiros de aço corrugado.

A tecnologia desenvolvida permite agora aos engenheiros de obras viárias projetar galerias e bueiros para determinada vida útil desejada, partindo das características específicas da água e do solo no local de instalação dessas estruturas.

As indústrias, por sua vez, desenvolveram novos materiais e revestimentos visando atender aos requerimentos de durabilidade.

Corrosão em galerias e bueiros metálicos

A corrosão metálica pode ser definida como uma reação química ou eletroquímica entre o material e o meio, associada ou não a uma ação física, produzindo a deterioração do material. Um grande problema. Como é o caso da corrosão, pode ser mais facilmente entendido quando subdividido em pequenos problemas.

A corrosão somente pode ocorrer em duas partes dos bueiros: a interior e a exterior.

A corrosão somente pode ser causada por 3 agentes específicos: o solo, a água e a atmosfera.

Analisando os agentes que produzem a corrosão, concluímos que o solo pode causar efeitos somente no exterior das estruturas metálicas, enquanto a água que flui pelos bueiros produz corrosão na parte interior.

A atmosfera pode causar corrosão em qualquer superfície exposta.

Em alguns casos, a vida útil das galerias metálicas pode ver-se afetada por ações mecânicas ou abrasivas, que causam também a deterioração do material. Este assunto será analisado em seguida.

Corrosão atmosférica

Do ponto de vista prático, o ataque aos bueiros pela corrosão atmosférica é menos comum, e geralmente causa problemas menores.

A corrosão atmosférica pode ser influenciada pelos seguintes fatores:

- temperatura,
- composição do ar atmosférico,
- umidade relativa do ar,
- precipitação pluviométrica.

Nas inspeções realizadas em centenas de bueiros no Brasil e outros países da América do Sul, menos de 1 por cento apresentam indícios de corrosão atmosférica.

Esses bueiros estavam localizados bem próximo ao mar, recebendo uma constante brisa salina que causava corrosão nas superfícies expostas do metal.

Duas variáveis devem ser consideradas quando se instalam bueiros junto ao mar:

- a primeira é a magnitude da ação das ondas, que afetam diretamente a qualidade de ar.

- a segunda é a direção do vento que prevalece, influindo diretamente na quantidade de ar que entra em contato com o bueiro.

Ambas as condições, de ação forte do vento e seu direcionamento no sentido do bueiro, podem causar problemas importantes de corrosão.

Se as duas condições se dão de forma desfavorável, devem ser tomadas medidas apropriadas para proteger as superfícies expostas das chapas metálicas.

Em geral, medidas adotadas para proteger bueiros metálicos contra a corrosão causada pela água são suficientes para protegê-los satisfatoriamente contra a corrosão atmosférica.

Corrosão causada pelo contato com o solo

A análise apropriada da natureza corrosiva dos solos pode representar uma tarefa importante para os projetistas, e está relacionada principalmente com:

- a resistividade ou condutividade do solo,
- o grau de concentração do oxigênio.

Em relação à corrosividade podem ser identificados os seguintes tipos de solo: inorgânicos e orgânicos, oxidantes e redutores, ácidos e alcalinos – com diferentes graus de aeração.

A melhor recomendação para o aterro de bueiros é o uso de solos inorgânicos, neutros e bem compactados.

Níveis indesejáveis de pH, a presença de sais solúveis e íons no solo podem causar corrosão.

A presença destes íons pode ser detectada através de medições de campo com equipamento apropriado para determinar a condutividade do solo.

O pH do solo também pode ser medido através de medidores eletrônicos.

Em 1957 foi desenvolvido o gráfico de Califórnia, utilizado até hoje, que pode ser empregado para determinar a vida útil esperada de galerias e bueiros metálicos, no que se refere à corrosão da face em contato com o solo (anexoI).

Para usar o gráfico de Califórnia simplesmente empregam-se os valores de condutividade e pH encontrados no campo, com o que se determinam os anos estimados para que se produzam as primeiras perfurações nas chapas de aço galvanizadas.

O gráfico é aplicável à todas as espessuras de chapa galvanizada através do uso de multiplicadores.

O gráfico de Califórnia somente é aplicável para determinação da durabilidade em função da corrosão do solo.

É importante notar que a corrosão causada pelo solo geralmente não é um problema de grande incidência na América Latina. Há duas razões para isso:

- em áreas de chuvas intensas, todos os minerais livres que podem ser perigosos para os bueiros são removidos da camada superior do solo;

- muitas áreas que não apresentam chuvas intensas são constituídas de solo do tipo silicato, que tem pH neutro e baixa condutividade.

Entretanto, algumas áreas costeiras e secas apresentam solos corrosivos. Esses podem ser facilmente reconhecidos pela alta condutividade atribuída geralmente à presença de sais.

Em solos de alta condutividade deve-se sempre adotar medidas apropriadas para prevenir a ação da corrosão.

Corrosão causada pelo contato com a água

Nas centenas ou milhares de galerias e bueiros inspecionados em toda a América Latina, mais de 99% dos problemas de corrosão, quando ocorrem, são causados pela ação da água.

A taxa de corrosão metálica pela ação da água é influenciada:

- pela composição química,
- pelo volume,

- presença de bactérias,
- presença de sólidos.

O que aparentemente não deveria constituir um meio corrosivo – pH neutro e baixa condutividade – verificou-se ser um meio agressivo. Em alguns casos, as chapas dos bueiros de aço galvanizado em contato com a água se deterioram em poucos anos.

Esse problema foi verificado primeiramente na região amazônica do Brasil, depois nos demais países que compartem essa bacia pluvial, e em seguida diversas regiões do continente.

Do ponto de vista lógico a corrosão não deveria existir em águas puras, entretanto as inspeções de campo mostram problemas significativos em muitos bueiros.

Os engenheiros que realizaram esses estudos começaram a analisar mais profundamente a composição química da água e somente há poucos anos descobriram as razões pelas quais o grau de corrosão é tão alto nessas águas puras.

As águas puras na natureza têm relativamente poucos minerais. São conhecidas como águas brandas ou suaves. Esse tipo de água pode também conter altas quantidades de dióxido de carbono dissolvido, proveniente do solo, do ar e da vegetação.

As águas com alta quantidade de minerais – águas duras, podem criar uma capa protetora nos materiais, mediante a formação de bicarbonato de cálcio.

Entretanto, existindo uma grande quantidade de dióxido de carbono, formar-se-á o ácido carbônico que por sua vez impede a formação da capa protetora de bicarbonato de cálcio

Se a água for do tipo suave não existirão sistemas protetores e a formação do ácido carbônico determinará a vida dos bueiros.

A razão para os problemas de corrosão por contato com a água já está assim definida. O problema agora está em como medir os mecanismos de proteção ou destruição.

Medidas de campo

Engenheiros químicos constataram que medindo a dureza e a alcalinidade da água em conjunto com o pH e a condutividade obtém-se suficiente informação para determinar o efeito corrosivo da água nos bueiros metálicos.

O potencial que tem a água para formar a capa protetora pode ser determinado medindo-se a dureza e alcalinidade em ppm (partículas por milhão) de carbonato de cálcio.

Estas medidas devem ser tomadas no campo já que a composição química da água varia com o tempo, se esta for removida de seu ambiente natural.

As medidas de campo podem ser obtidas através de equipamentos disponíveis no mercado que determinam diretamente os dados de dureza e alcalinidade.

Os valores do pH e condutividade da água são usados na determinação do seu potencial destrutivo. Ambos são também medidos no campo com medidores apropriados.

Utilizando-se o nomograma de Betz juntamente com os dados determinados no campo pode-se determinar a quantidade de dióxido de carbono livre que se encontra disponível na água para formar o destrutivo ácido carbônico (Anexo II).

O potencial destrutivo é também função direta da condutividade. Quando maior a condutividade maior será o potencial corrosivo.

Interpretação dos resultados

Uma vez obtidos os resultados de campo o passo seguinte é desenvolver um sistema prático de uso desses dados.

Uma extensa pesquisa revelou que o gráfico de Califórnia se aplica de forma confiável à análise da corrosão causada pelo solo.

Um novo gráfico foi desenvolvido para a análise de corrosão causada pela água. Esse gráfico é o gráfico de Bednar que apresenta no eixo “Y” as características químicas da água e no eixo “X” seu potencial elétrico ou condutividade (Anexo III).

A química da água é a soma do potencial protetor que existe na dureza e alcalinidade menos o potencial destrutivo que existe no dióxido de carbono livre.

O gráfico de Bednar subdivide os meios corrosivos em várias áreas e determina o meio no qual o aço galvanizado funcionará satisfatoriamente por 50 anos.

Pode-se também verificar no gráfico as áreas nas quais outros materiais ou revestimentos devem ser utilizados para proteção dos bueiros metálicos, a fim de se obter vida útil de 50 anos ou mais.

Se a água apresenta alta condutividade provavelmente conterá sais dissolvidos e, portanto, não será um meio recomendável para bueiros de aço galvanizado.

Revestimentos para galerias e bueiros metálicos

Uma vez caracterizado o meio no gráfico de Bednar, o projetista poderá decidir que tipo de revestimento deverá utilizar no bueiro. Devem ser considerados fatores técnicos e econômicos no processo de decisão.

Os revestimentos destinados a proteger peças metálicas contra a deterioração podem ser divididos nos seguintes grupos:

- Quanto á sua composição – metálicos e não-metálicos ou orgânicos;

- Quanto á sua ação – de sacrifício e de barreira.

O zinco é um revestimento do tipo metálico de sacrifício.

Os revestimentos de sacrifício se corróem para proteger o metal base. Uma vez que o revestimento se desgasta, aí então se inicia a corrosão natural no metal base de acordo com o meio específico.

Outros revestimentos metálicos podem ser do tipo de barreira. Por exemplo, o cromo sobre o aço utilizado em peças de automóveis.

Os revestimentos orgânicos são geralmente do tipo. Os revestimentos de barreira evitam que os elementos perigosos alcancem o material base que estão protegendo. Revestimentos do tipo orgânico comumente utilizados para proteger o aço podem ser: asfalto, alcatrão de carbono, alcatrão de carbono epóxico ou revestimento epóxico.

Estes revestimentos estão relacionados em ordem de maior eficiência na proteção do material base, sendo, portanto, o revestimento epóxico o mais efetivo.

O asfalto deve ter uma espessura mínima de 1.300micra ou 1,3mm para ser considerado uma proteção efetiva contra a corrosão.

O asfalto é suscetível a permeabilização sob umidade quando submetido permanentemente a meios molhados e pode degradar-se completamente quando exposto a luz solar.

Por estas razões o asfalto é apropriado para proteger bueiros unicamente pelo lado em contato com o solo e não pelo lado em contato com a água.

Deve-se levar em conta que tanto a espessura quanto o método de aplicação são exatamente importantes para se obter um bom revestimento. Se o revestimento está falhando em algum desses pontos, poderá tornar-se imprestável em relação á agressividade do meio.

O revestimento epóxico é o melhor dos revestimentos estudados devendo apresentar espessura de 150 micra.

Por sua estrutura molecular, o revestimento epóxico é virtualmente impermeável á água. É também resistente á degradação pela luz ultravioleta. Uma pequena camada de pó muito fino pode-se formar após longa exposição à luz solar, entretanto essa degradação alcança somente uma certa profundidade formando um sistema protetor contra uma futura degradação.

Quando aplicado em forma de pó e fundido ao aço por ação do calor, torna-se o melhor revestimento conhecido para galerias e bueiros metálicos.

Os problemas de corrosão encontrados ao longo dos anos resultaram em um relevante aumento do conhecimento técnico, a partir do qual a indústria desenvolveu soluções mais apropriadas, contribuindo com a evolução dos bueiros metálicos.

Abrasão

A abrasão é um problema antigo e muito sério verificado desde a instalação das primeiras galerias em regiões montanhosas. Assim como a corrosão, a abrasão causa a deterioração dos bueiros metálicos.

A natureza da abrasão é mecânica, ao contrário da corrosão que tem natureza química ou eletroquímica.

A abrasão é causada pelo impacto de partículas duras de solo contra o aço das chapas metálicas.

A abrasão é, portanto, uma função da velocidade da água, do tamanho, da dureza e da forma angular das arestas partículas.

Com estas considerações, pode-se facilmente reconhecer no campo as condições severas de abrasão.

Quando verificada a existência de condições de abrasão, devem ser previstas medidas apropriadas de proteção.

Existem 4 alternativas práticas e econômicas de projeto:

- Em primeiro lugar esta a seleção da forma apropriada da seção dos bueiros, como o caso dos arcos que não são afetados pela abrasão por não possuírem fundo. Essa é uma boa alternativa quando se encontra um bom solo de fundação.

- Em segundo lugar está a solução de recobrir o fundo das estruturas, o que lhes dá maior resistência mecânica. O recobrimento ou pavimento do fundo com concreto lançado no local é uma boa solução quando este material está disponível e a dimensão dos bueiros devem ser atendidas as boas práticas de construção.

- Em terceiro lugar pode-se adotar a solução de enterrar o fundo dos bueiros. Para isso, deve-se dimensionar um tubo de seção ligeiramente maior e enterrá-la em 10% resultando na mesma área de drenagem bem como proporcionando um fundo largo e plano de material natural que estará livre de efeitos abrasivos.

Finalmente pode ser aplicada a solução de mudar a declividade da galeria reduzindo assim a velocidade da água e causando a diminuição da ação abrasiva.

Essa é uma boa solução quando as condições hidráulicas permitem a alteração da declividade da calha.

Somente o revestimento, seja galvanizado, asfáltico ou epóxico, não poderá garantir proteção suficiente contra condições abrasivas severas.

Com o conhecimento das condições específicas do local, com bom senso e através da aplicação de um dos projetos mencionados, a abrasão nunca será um problema sério.

1 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE REVESTIMENTO DE CHAPAS

Revestimento Epoxy Bonded

A proteção recomendada para os bueiros a serem utilizados em condições agressivas de meio ambiente é o revestimento epoxy**.**

O revestimento **"Epoxy Bonded"** aplicado às estruturas de aço corrugado de exclusiva fabricação da **ARMCO DO BRASIL S/A**, foi desenvolvido para a utilização em obras onde a proteção contra a corrosão é essencial.

As estruturas de aço corrugado **ARMCO PLATE** com o revestimento em **"Epoxy Bonded",** representam o mais significativo avanço na tecnologia de proteção contra a corrosão. Resultado de rigorosas pesquisas de laboratório e testes de campo, desenvolvidas em condições altamente desfavoráveis, onde as estruturas **ARMCO PLATE** com o revestimento especial **"Epoxy Bonded"** comprovaram que são mais resistentes à corrosão.

O **"Epoxy Bonded"** é um processo de tecnologia avançada à base de resina de epoxy. As chapas de aço são submetidas à sucessivos banhos químicos de desengraxe, decapagem e fosfatização, com a finalidade de aumentar a aderência do pó de epoxy e proteger o metal base contra a evolução da corrosão subpelicular nos casos de eventual fratura do revestimento por impacto.

A seguir, as chapas recebem a deposição eletrostática do pó de epoxy para polimeração a 200 graus centígrados de temperatura.

O resultado final é uma película de 150 micra de espessura mínima, cobrindo de maneira uniforme as superfícies interna e externa das chapas.

Desde 1947 até o fim dos anos 70 a **ARMCO** só fabricava estruturas com revestimento galvanizado.

Nesta época, a **ARMCO** identificou que em determinadas regiões do país, em particular a Região Amazônica, o revestimento galvanizado apresentava uma corrosão mais acelerada, reduzindo a vida útil prevista para as obras.

Para estudar o problema e apresentar soluções foi convidado o Dr. **Aldo Cordeiro Dutra** que realizou uma extensa pesquisa nas regiões mais afetadas pelo problema.

Região 1 - Manaus
Região 2 - Boa Vista
Região 3 - Santarém
Região 4 - Porto Velho
Região 5 - Teresina

Nestas cinco áreas foram inspecionados mais de 200 bueiros fazendo-se marcações e medições, tanto das propriedades do solo quanto da água, tais como:

- Condutividade;
- PH;
- Dureza;
- Alcalinidade;
- Quantidade de dióxido de carbono.

Esta pesquisa teve duração de quase um ano e levantou as causas para a corrosão prematura:

- PH bastante baixos, devido aos ácidos Húmicos e Flúmicos provenientes da decomposição de matéria orgânica;
- Baixa quantidade de sais minerais dissolvidos;
- Altas temperaturas de água (30 a 34 graus);
- Alta oxigenação (pequena lâmina d'água);
- Alta pureza (baixa dureza) – não formação de camada protetora de carbonato de zinco.

Com os resultados deste estudo o Centro de pesquisas da **ARMCO** propôs o uso do **Epoxy Bonded** como a solução mais adequada para as condições brasileiras, comparada com outras formas de revestimento utilizadas pela **ARMCO** em outros países tais como: revestimento alumínizado, recobrimento asfáltico, recobrimento com outras resinas orgânicas.

É importante lembrar que a utilização do epoxy como revestimento protetor contra corrosão já é largamente conhecida, como por exemplo na proteção de pipelines, vergalhões de ferro de construção, revestimento de turbinas, construção naval, etc.

O **Epoxy Bonded,** consiste de pintura eletrostática a pó epoxy com o peso mínimo de 0,610 Kg/m2 nas duas faces

- O pré-tratamento superficial
- O Desengraxe

O desengraxe tem como objetivo a remoção de óleos, graxas e sujeiras em geral.

O desengraxe é um detergente alcalino, solúvel em água e deve trabalhar a uma temperatura em torno de 95 graus centígrados.

- Lavagem

A lavagem do desengraxante retira o excesso da solução assim como algumas partículas de óleo que tenham sido arrastadas no momento da retirada, evitando a deterioração acelerada provocada pela solução **ácida aplicada a seguir**.

- Decapagem

A decapagem tem como objetivo a remoção química da oxidação proveniente da laminação e do tratamento térmico e também da corrosão em geral sofrida pelo aço durante a estocagem.

- Lavagem

A lavagem do decapante faz-se necessária para se eliminar todo o material carregado por arraste, evitando-se a deterioração no próximo banho.

- Fosfatização

A fostalização tem dois objetivos básicos, fornecer ao metal base uma superfície rugosa para facilitar a ancoragem do material de revestimento e fornecer ao metal base uma proteção adicional que trabalhará evitando a propagação rápida de corrosão subpeculiar, caso haja rompimento de camada de revestimento.

O fosfato utilizado nesse caso é o fosfato de zinco, o qual pode ser operado aquecido ou a temperatura ambiente.

- Lavagem

Esta operação é necessária para se retirar os cristais em excesso existentes na superfície da chapa.

- Aplicação do revestimento Epoxy

Pré-aquecido

As chapas que serão revestidas precisam ser pré-aquecidas, com a finalidade de secar totalmente e fornecer a chapa a temperatura ideal para receber

o material de revestimento sem o qual não se consegue atingir a espessura mínima especificada para a camada de revestimento epoxy.

- Aplicação do Material de Revestimento

O material de revestimento (epoxy em pó) é aplicado através de pistolas eletrostáticas, as quais pulverizam e ionizam o pó num potencial diferente do existente nas chapas, conseqüentemente a aderência ocorre por atração eletrostática.

Essa operação é realizada no interior de cabines especiais que possuem sistema de recuperação do pó que não ficou agregado a chapa, permitindo a sua reutilização posterior.

- Polimerização do revestimento

A polimerização do material se processa quando as chapas permanecem durante um intervalo de tempo a uma temperatura determinada.

Geralmente a polimerização ou cura do revestimento se processa a uma temperatura de 200 graus centígrados durante 10 minutos.