

Dessalinização da água do mar através do Sistema de Osmose Reversa.

Estima-se que até 2030, quase metade da população mundial viverá em situação de estresse hídrico devido ao crescimento populacional, o que aumentará a demanda por água para consumo humano, agricultura e indústria, agravando o conflito hídrico. Até o ano de 2050, estima-se que a demanda total por água mais que dobre.

Embora 70% da superfície da Terra seja coberta por água, 96,5% é água salgada e a distribuição dos 3,5% restantes (água doce) é muito desigual. Para os países que sofrem de escassez crônica de água, os únicos recursos hídricos disponíveis no futuro serão água recuperada e água do mar.

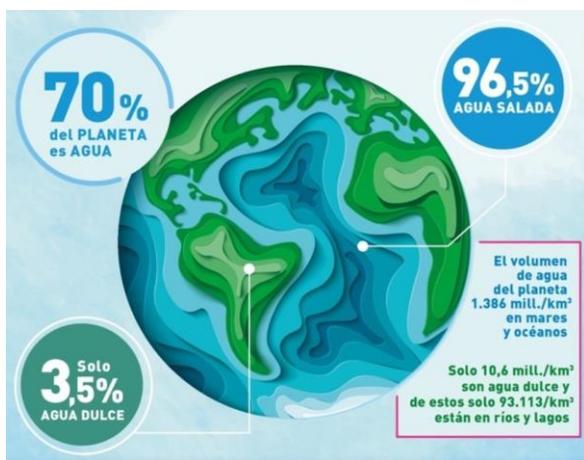


Figura 1. Distribuição da Água no planeta Terra.

A dessalinização por membrana de osmose reversa tornou-se a mais utilizada, pois geralmente é a menos dispendiosa. Esta tecnologia é mais adequada para países que sofrem de estresse hídrico e têm recursos energéticos limitados.

1. Introdução

Atualmente existe um problema global, cada vez pior, a escassez de água potável. Este fenômeno é acentuado nas zonas áridas onde este fenômeno é ainda mais acentuado. Um aspecto importante a ser considerado no futuro é o aumento da população e sua concentração em áreas urbanas. O aumento da população causará uma diminuição da água renovável per capita em nível nacional, passando de 3.736 m³/hab/ano em 2014 para 3.253 m³/hab/ano até 2030. Entre 2014 e 2030 a população do país aumentará em 17,8 milhões e estima-se que até 2030 aproximadamente 78,3% da população total se estabelecerá em áreas urbanas, causando escassez e aumento da demanda por esse recurso hídrico. No campo do tratamento de água, ferro e manganês são de especial interesse tanto pela conformidade regulatória para água potável quanto por seus efeitos nos processos de tratamento.

A principal fonte de abastecimento de água potável na maioria dos dois países são as águas subterrâneas, representando aproximadamente 38,7% do volume total destinado ao uso consuntivo. Nos últimos anos esta fonte de água potável tem sido afetada por dois tipos de poluição: natural ou antropogênica. Entre as causas naturais está a contaminação de dois aquíferos devido à alta salinidade, devido às propriedades do subsolo.

É por isso que o processo de dessalinização da água do mar, neste momento, vem sendo promovido como uma fonte alternativa, segura e estável de abastecimento de água diante da crescente demanda por recursos hídricos.

2. O que é dessalinização?

A dessalinização consiste no processo de separação dos sais dissolvidos da água do mar, onde é gerado um produto água ou água potável, e um rejeito de água ou salmoura (Ahmad & Baddour, 2014; Dévora, González, & Ruíz, 2013; Valero, Uche, & Serra, 2001). Como tal, a dessalinização da água refere-se ao mesmo

processo de separação, mas em águas de salinidade mais baixa do que a água do mar, por exemplo, água salobra.

No processo de uma usina de dessalinização, um dos elementos-chave é a seleção da tecnologia a ser utilizada, que varia muito em relação às condições do local, o tipo ou qualidade da água a ser tratada, a quantidade de energia que o sistema exige, ao volume de salmoura que é descartado e aos recursos econômicos que estão disponíveis

Como indicado, tudo depende das condições da área, por isso vale a pena identificar os diferentes tipos de faixas de salinidade. A tabela a seguir mostra a categorização dos diferentes tipos de água em relação à quantidade de sal presente em cada uma, tendo como referência o Oceano Pacífico com uma salinidade média de 33.500 mg/L (Espinosa, Gaxiola, Robles, & Nájera, 2001 ; Valero et al., 2001).

Denominación del agua	Salinidad (SDT en mg/L)
Ultra pura	0.03
Pura	0.3
Desionizada	3
Dulce (potable)	< 1,000
Salobre	1,000 – 10,000
Salina	10,000 – 30,000
Mar	30,000 – 50,000
Salmuera	> 50,000

Tabela 1. Salinidade em diferentes tipos de água.

“Além do termo *dessalinização*, o termo *dessalinização* também pode ser encontrado. O dicionário da Real Academia Espanhola considera ambas as palavras sinônimas e, portanto, podemos falar indistintamente de *dessalinização da água* ou *dessalinização da água*.”

3. As dez maiores usinas de dessalinização do mundo

Como veremos na lista a seguir, a Arábia Saudita é atualmente um dos países pioneiros na dessalinização da água do mar. Neste país, quatro em cada cinco litros consumidos são provenientes de usinas de dessalinização.

1. **Ras Al Khair**, Arabia Saudita: 1.036.000 m³ / día



2. **Taweelah**, Emiratos Árabes Unidos: 909.200 m³ / dia
3. **Shuaiba 3**, Arabia Saudita: 880.000 m³ / dia
4. **Jubail Water and Power Company (JWAP)**, Arabia Saudita: 800.000 m³ / dia
5. **Umm Al Quwain (UAQ)**, Emiratos Árabes Unidos: 682,900 m³ / dia
6. **DEWA Station M**, Dubai: 636.000 m³ / día
7. **Sorek**, Israel: 624.000 m³ / dia
8. **Jubail 3A IWP**, Arabia Saudita: 600.000 m³ / dia
9. **Sorek 2**, Israel: 570.000 m³ / dia
10. **Fujairah 2**, Emiratos Árabes Unidos: 591.000 m³ / dia



4. Técnicas de dessalinização

A dessalinização começou no final do século XIX, embora a dessalinização sempre tenha existido naturalmente, através do processo de evaporação da água do mar no ciclo hidrológico.

Dentre as técnicas de dessalinização existentes está a dessalinização por meio de membranas ou dessalinização por destilação ou evaporação (energia mais cara).

Na dessalinização por meio de membranas, encontram-se as seguintes técnicas:

- Osmose Reversa.
- Nanofiltração.
- Eletrodialise.

Por outro lado, na dessalinização por destilação ou evaporação (técnicas mais utilizadas no Oriente Médio), são utilizados três processos:

- Evaporação Flash Multiestágio (MFS).
- Evaporação multi-efeito em tubos horizontais.
- Compressão de Vapor (Mecânica e Térmica).

5. Principais etapas do processo

O processo de dessalinização da água é realizado em usinas de dessalinização ou usinas de dessalinização. A dessalinização da água passa por várias fases:

Captação da Água de mar. A qualidade da água bruta pode variar dependendo se é bombeada diretamente do mar ou retirada dos poços da praia, os tratamentos subsequentes e os equipamentos utilizados também podem ser diferentes para se adaptar a essas circunstâncias.

Poços de praia: poços costeiros onde as camadas de areia atuam como um pré-tratamento natural que filtra a água do mar, garantindo que a água a tratar tenha características mais estáveis (salinidade constante, pouca variação de temperatura, baixo pH).

Pré tratamento. As membranas de osmose reversa são muito sensíveis a variações na qualidade da água, temperatura, presença de algas, etc. Portanto, é necessário um pré-tratamento e sua escolha é um fator decisivo para o projeto da planta de dessalinização. A Veolia Water Technologies oferece uma ampla variedade de soluções de pré-tratamento, para se adaptar às necessidades de cada cliente:

- Actiflo® : processo de decantação lamelar compacto e de alta velocidade, muito eficiente para a remoção de turbidez, compostos orgânicos, cor e algas
- Spidflow™ : sistema de flotação por ar dissolvido compacto e rápido para o tratamento de água com partículas de baixa densidade, algas ou ácidos húmicos
- Filtraflo™ TGV : filtração de mídia por gravidade de alta velocidade, particularmente eficiente na remoção de turbidez
- Spidflow™ Filter : combinação de filtração de ar dissolvido e filtração multimídia de alta velocidade

Sistema de Osmose Reversa. O processo consiste basicamente em bombear água salgada em alta pressão através de uma membrana, deixando uma corrente de água com alta concentração chamada salmoura e outra com concentração muito baixa. O rejeito ou salmoura pode atingir uma concentração entre 20 - 70% dependendo do teor de sal.

Cuidados posteriores - remineralização. A água, já dessalinizada, deve passar por um pós-tratamento adequado ao tipo de uso e às exigências legais.

A Veolia tem uma gama única de tecnologias de pós-tratamento para atender a todas as necessidades:

- Injeção de CO2 para remineralizar a água

- Filtros de calcita para neutralizar o pH e minimizar a corrosão
- Processo Multiflo™ para a produção de água de cal

Descarga de salmoura. A salmoura rejeitada das membranas de osmose reversa é enviada para um Tanque de Armazenamento, aproximadamente a cada 6 meses, essa água armazenada neste tanque será devolvida ao mar por meio de um sistema de bombeamento.



Figura 2. Etapas básicas de um projeto de dessalinização da água do mar.

Numa primeira fase, é fundamental decidir sobre a correcta localização do sistema de descarga que, embora obviamente condicionado pela localização da central de dessalinização, deve encontrar a melhor solução possível para a sua construção, tendo em conta as características técnicas do local, bem como a presença de espaços, ecossistemas ou espécies protegidas na área de influência da descarga.

Para não afetar a flora e fauna marinha, recomenda-se que a descarga seja localizada o mais distante possível de áreas que abrigam ecossistemas sensíveis ao excesso de salinidade, para o que é necessário levar em consideração todas as variáveis que determinam a trajetória da descarga. Nesse sentido, por exemplo, construir o sistema de descarga em áreas com ondas mais altas e correntes persistentes beneficiará a diluição da salmoura quando esta for devolvida ao meio ambiente.

Além disso, deve-se ter em mente que a maior ou menor diluição da salmoura depende de fatores como a diferença de densidade e temperatura entre a salmoura e a água do mar, a velocidade de saída do rejeito, a altura em relação ao fundo do mar ou o ângulo de saída... para que possamos ter uma ideia da importância do design ideal desses sistemas de descarga para minimizar o impacto ambiental.

Não há dúvida, portanto, que o sistema de descarga de salmoura de uma usina dessalinizadora no mar é um dos grandes desafios de projeto que a engenharia deve resolver, uma vez que, juntamente com o sistema de captação de água, estão fortemente condicionados por aspectos ambientais, para além dos aspetos técnicos e económicos que, tal como acontece com as restantes infra estruturas de uma central de dessalinização, influenciam também o projeto final.

Recomenda-se também que a seção final do emissor de descarga seja equipada com uma série de difusores para melhor diluição da salmoura.

Entre os sistemas de descarga de salmoura mais utilizados encontramos:

Descarga direta de superfície. Este sistema de descarga consiste na descarga de salmoura para o mar a partir da superfície e sem impulso inicial. Neste sistema a salmoura desce rapidamente para o fundo.

Emissário submarino. Este sistema consiste na construção de um emissário submarino para realizar a descarga. Este sistema maximiza a diluição da salmoura, embora o tipo de projeto do emissário também seja importante para obter ótimos resultados.

Por exemplo, a diluição é melhorada quando o emissário tem uma certa inclinação vertical em direção à superfície, pois como a salmoura tem densidade superior à da água do mar, o efluente realizará inicialmente um movimento parabólico, o que facilitará sua rápida diluição.

Estes emissários são normalmente constituídos por vários troços com características diferentes na sua conceção consoante a sua localização e as condições locais, por exemplo, em algumas ocasiões estão enterrados ou noutros lastrados no fundo do mar.

Neste tipo de descarga pode ser utilizado o jato único ou a seção difusora com múltiplos bicos. Além disso, redutores podem ser usados para maximizar a diluição.

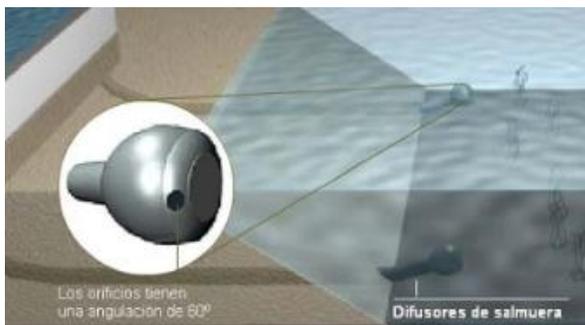


Figura 3. Exemplo de difusor de salmoura.

Os sistemas mais avançados são aqueles que projetam uma seção difusora de jatos submersos inclinados, suficientemente separados uns dos outros para evitar o impacto entre os jatos durante sua trajetória anterior ao impacto com o fundo.

Este sistema de descarga é, do ponto de vista técnico e económico, mais caro. E a nível ambiental, embora o impacto no meio marinho seja maior na fase de construção da central, uma vez que exige a escavação de fundos e colocação de tubagens, durante a fase de exploração consegue reduzir significativamente o impacto no meio marinho ambiente.

Possui vantagens económicas e construtivas, mas do ponto de vista ambiental, embora na fase de construção tenha um impacto muito menor, pois não requer escavação ou construção de tubulações no fundo do mar, durante a operação da usina pode ter um impacto maior, pois a diluição do efluente é escassa, tornando-se um sistema inadequado nesse sentido quando o ambiente receptor possui determinadas características.

Diluição prévia. A fim de melhorar a diluição da salmoura, muitas usinas de dessalinização adicionaram aos seus projetos sistemas de diluição prévia do concentrado com água do mar antes de ser enviado para o emissário. Desta forma, a salmoura fica retida em um tanque ou piscina onde é diluída com água vinda diretamente do mar.

Dessa forma, a concentração de sal da salmoura é menor e permite maior diluição, produzindo menor impacto no ambiente receptor.

Essa técnica requer um sistema de bombeamento de água do mar para onde ocorrerá a diluição, o que aumenta o consumo de energia da usina..

Descarga conjunta com outras águas. Às vezes, a localização da usina de dessalinização

permite que a salmoura seja descarregada junto com outras águas.

Descarga com águas residuais urbanas de uma estação de tratamento ou descarga conjunta com água de resfriamento de usinas termelétricas são dois dos tipos mais comuns de descarga conjunta.

Nestes sistemas, embora a salinidade da salmoura diminua quando se mistura com outras águas menos salinas, ela adquire outras características como, por exemplo, maior temperatura, razão pela qual também é aconselhável analisar em profundidade o tipo de água final que comporá a descarga, a fim de implementar o melhor projeto possível, dadas as suas características específicas.

5.1 Principais componentes de um skid de dessalinização

Filtração a 5 microns. Para eliminar pequenas partículas em suspensão que possam vazar do equipamento de pré-tratamento e também para proteger a bomba de alta pressão, o recuperador de energia e as membranas do equipamento de osmose reversa, o skid de dessalinização possui um sistema de filtragem de 5 microns.

Sistema de bombeamento de alta pressão. A água, após passar pelo pré-tratamento químico e físico, será aspirada por uma bomba centrífuga de alta pressão que a conduzirá em direção ao banco de membranas do equipamento de osmose reversa.

O sistema de bombeamento de alta pressão é geralmente composto por:

- Bomba de alta pressão
- Bomba Booster
- Equipamento de recuperação de energia

A bomba de alta pressão será fornecida com variador de velocidade, com a vantagem de a bomba ser sempre dimensionada em antecipação ao caudal máximo. A bomba e os equipamentos da planta associados, como

tubulações, válvulas e tanques, devem sempre ser projetados para cobrir o volume máximo bombeado e, portanto, alguma forma de controle é necessária.

O bombeamento de vazão pode ser controlado por vários métodos:

- Controle de estrangulamento por meio de uma válvula
- Controle da bomba start-stop
- Controle de velocidade, por meio de um variador

Com o controle de velocidade por meio de um drive, um resultado melhor é facilmente alcançado do que com outras formas de controle não linear. Uma desvantagem da operação intermitente é, por exemplo, a descontinuidade da regulação. O parâmetro controlado, vazão ou pressão, varia. Um controle exato e linear é obtido com um conversor.

Recuperador de energia. Em geral, este tipo de sistema possui um recuperador de energia isobárico. Este tipo de recuperador transfere a pressão da salmoura (alta pressão) para a água de entrada pré-tratada (baixa pressão) com eficiência de até 98%.

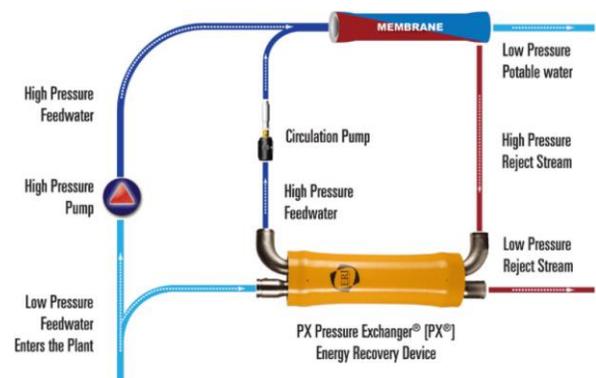


Figura 4. Exemplo do recuperador de energia PX, ERI.

Em outras palavras, esses trocadores são capazes de transferir a energia da alta pressão do resíduo excedente da OR (líquido concentrado/salmoura) para uma de baixa pressão, para o novo fluxo de água.

Como dito acima, este equipamento utiliza o princípio do deslocamento positivo e câmaras

isobáricas. A parte de baixa pressão é preenchida com água do mar e a parte de alta pressão com salmoura rejeitada, transferindo a energia desta para a primeira.

6. Tipos de corrosão em sistemas de dessalinização

Em relação à corrosão que os equipamentos instalados nas usinas de dessalinização devem suportar, é importante destacar que existem dois tipos. Conhecê-los será útil para decidir qual o material mais adequado.

Corrosão generalizada afeta a superfície de um material de maneira uniforme principalmente porque há uma redução na camada de passivação do óxido de cromo.

Em um ambiente marinho ou outro ambiente corrosivo, a superfície do aço carbono ou de baixa liga começa a se degradar, permitindo a formação de uma camada de óxido de ferro, que engrossa com o tempo, até que se solte e comece uma nova camada.



Figura 5. Exemplo de corrosão generalizada em tubos metálicos

Corrosão localizada representa um risco potencial para a indústria em geral, pois é bastante difícil de detectar, pois é encontrado em áreas específicas do material. Deve-se principalmente à geometria do material, às suas características físicas e às condições ambientais. As corrosões localizadas mais comuns são: intergranular; pitting; galvânico; rachaduras por corrosão sob tensão (sob tensão) e corrosão em frestas (corrosão por trincas). Um dos que mais afeta dutos em usinas de dessalinização é o pitting, um ataque localizado na forma de pitting que penetra no material causando uma

ruptura. Outra é a corrosão em frestas ou corrosão em frestas, que normalmente ocorre ao longo das linhas de solda.



Figura 6. Exemplo de corrosão localizada

Historicamente, diferentes materiais têm sido utilizados para a execução de dutos em usinas de dessalinização: concreto, poliéster reforçado com fibra de vidro (GRP), aço, polietileno de alta densidade (PEAD), ferro fundido, etc. Na seção 6 deste artigo serão indicados os materiais recomendados para este tipo de aplicação.

7. Materiais recomendados

A degradação de materiais de engenharia constitui um risco econômico, ambiental e de segurança significativo. Os métodos práticos que eliminam a corrosão incluem a seleção de CRA (no caso de metal) e CRM (no caso de plásticos e compósitos) adequados. Esses materiais de engenharia não reagirão com fluidos DP. Os processos de seleção técnica são divididos em três etapas.

a) Análise dos requisitos e compilação das informações relevantes sobre as condições impostas pelo processo de dessalinização e a resistência à corrosão exigida pelo equipamento de dessalinização.

b) Seleção e avaliação dos materiais candidatos por triagem das informações coletadas na primeira etapa.

A adequação de materiais potenciais é avaliada criticamente, com base em sua disponibilidade, resistência, facilidade de fabricação, manutenção, segurança e custo.

c) De acordo com esses dados, o material mais adequado deve ser escolhido para desempenhar sua função por um período razoável a um custo razoável.

A decisão final deve ser um compromisso entre fatores tecnológicos e econômicos. Às vezes, é mais conveniente usar um material de alto preço que forneça um serviço sem problemas do que usar um material de preço mais baixo que requer manutenção ou substituição frequentes.

A seleção de materiais para equipamentos de tratamento de água do mar deve levar em consideração a classificação de pressão da aplicação, a corrosividade do fluido e a localização do uso final. A água do mar contém aproximadamente 3,5% de sal (cloreto de sódio) e é ligeiramente alcalina (pH 8). É um bom eletrólito e pode causar corrosão severa. A taxa de corrosão é afetada por:

- Teor de oxigênio
- Velocidade e temperatura do líquido
- A presença de organismos biológicos

Salinidade e Condutividade
Condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos (TDS)
Oxigênio e outros gases dissolvidos (H ₂ S, CO ₂)
pH
Temperatura
Atividade Biológica (Bioincrustação)
Contaminantes e Turbidez (Sólidos e sedimentos suspensos)
Incrustações e depósitos de dureza
Velocidade e fluxo do fluido
Serviço intermitente ou contínuo - Condições estagnadas?
Práticas de cloração

Tabela 2. Variáveis da água do mar que afetam a seleção de materiais.

Na maioria dos sistemas de tratamento de água do mar, o teor de oxigênio é a principal preocupação do projeto para proteção contra corrosão, porque o oxigênio dissolvido acelera muito a taxa de corrosão. As velocidades típicas de transporte de tubos estão na faixa de 1 a 3 m/s, o que terá um efeito mínimo sobre a

corrosão, mas minimizará a capacidade de organismos incrustantes aderirem aos materiais dos tubos. Geralmente, a resistência à erosão não é um fator importante na gestão da água do mar porque os sólidos não são muito erosivos.

Descobriu-se que o papel do oxigênio é de fundamental importância na corrosão de equipamentos de usinas de dessalinização em geral.

O oxigênio invariavelmente atua como um cátodo durante um processo de corrosão envolvendo uma célula eletroquímica e, portanto, sempre tem um efeito significativo nas taxas de corrosão.

A remoção praticamente completa de oxigênio é um passo importante no tratamento de água salgada por destilação flash ácida. Algumas plantas realizam a desaeração da água seguida da injeção de SBS para remover o oxigênio dissolvido da água do mar. A desgaseificação adequada é essencial para minimizar a corrosão das peças dos componentes internos, para evitar incrustações de carbonato e para minimizar os danos internos.

7.1 Materiais Resistentes à Corrosão (CRM)

Uma das principais atividades no desenvolvimento de um DP, principalmente durante a fase de projeto, é a seleção do CRM, que garante operação contínua eficiente sem paradas, baixo custo de manutenção e substituição de equipamentos corroídos.

O objetivo central desta seção é avaliar os MRCs considerados adequados para PDs. Além disso, os casos de corrosão que ocorrem nos diversos setores de uma DP são apresentados como alerta e alerta para projetistas e construtores de DP, para evitar tais ocorrências.

Os numerosos materiais de engenharia listados são classificados em três grandes grupos: ligas

metálicas, plásticos incluindo polímeros, borrachas e elastômeros e compósitos.

Os CRAs estão associados em vários grupos: ligas gerais, aço carbono, alumínio, cobre, ligas à base de Ni e ligas de Ti, (Tabela 5), todos identificados pelo Sistema de Numeração Unificado (UNS).

Alloys, UNS	Chemical composition (%)
G 10080	Fe-C (ASTM A 242, AISI 1080)
A 95052	Al-2.5Mg
C 70600	90Cu-10Ni
S 30400	Fe-18Cr-10Ni
S 31600	Fe-18Cr-12Ni-3Mo
S 08028	Fe-27Cr-31Ni-3Mo
S 31700	Fe-18Cr-8Ni-3Mo
S 31254	Fe-20Cr-18Ni-6.1Mo
S 31803	Fe-25Cr-5.7Ni-2.8Mo
N 06035	2Fe-33Cr-58Ni-8.1Mo
N 08904	Fe-20Cr-25Ni-4.5Mo
N 06030	Fe-20Cr-5.5Mo
R 52400	Ti-0.1Pd
Plastic	
PVC	Polyvinylchloride
PE	Polyethylene
PVDF	Polyvinylidene fluoride
Rubber	Natural and synthetic
Composite	
RC	Steel reinforced concrete
FGRP	Fiberglass-reinforced polyester

Tabela 3. Materiais resistentes à corrosão usados em usinas de dessalinização.

O aço carbono é o principal elemento estrutural para um DP, mas também para o transporte de água e tubulações de armazenamento. É preferido por suas propriedades mecânicas, fácil manuseio e soldagem. Sua limitada resistência à corrosão é melhorada pela pintura e revestimento e, para equipamentos de grande porte, pela proteção catódica (CP).

Algumas águas tratadas em equipamentos de aço carbono e ferro fundido adquirem coloração marrom-avermelhada devido à dissolução e/ou suspensão de produtos de corrosão do ferro, por exemplo, hematita $Fe_2O_3 \cdot xH_2O$. Essas águas são chamadas de águas “vermelhas”; os produtos de corrosão devem ser separados por filtração.

Tubos de Al/2,5Mg são usados em processos de dessalinização térmica para fabricar grandes trocadores de calor para resfriar vapor com água do mar. A resistência à corrosão das ligas de Al deriva da formação de uma camada passiva de Al_2O_3 . Em um processo de dessalinização de

múltiplos efeitos (MED), o enorme trocador de calor é feito de tubos de liga de alumínio e o corpo do evaporador de aço é revestido com resina epóxi.

As ligas Cu-Ni, Cu-Sn (bronze) e Cu-Zn (latão) são úteis em PD para bombas e tubos para transportar água do mar e outras águas de circulação, particularmente para aquecimento e evaporação para água do mar e para obtenção de água destilada para geradores de vapor e para água potável. Os produtos de corrosão verde, azul e marrom são sais de cobre que não conferem proteção e devem ser removidos periodicamente por meio de limpeza química.

Vários aços inoxidáveis (SS) são tratados frescos e SW, com diferentes concentrações de NaCl, em temperatura ambiente e alta, em membrana e DPs térmicos, em todo o mundo. A formação de finas camadas passivas de óxidos aderentes, na presença de ar e umidade, garante sua resistência à corrosão.

As ligas de Ni, com concentrações de Ni aumentando de 5,7% para 58%, encontram aplicações importantes em DP térmico para bombas de alta pressão, trocadores de calor e concentradores de salmoura de alta temperatura.

Os materiais plásticos de engenharia, derivados de componentes do petróleo, são polimerizados e convertidos em materiais sólidos na forma de chapas, placas, tubos, canos, etc. para a fabricação de equipamentos resistentes à corrosão. Incluem termoplásticos e termofixos, borrachas naturais e sintéticas (Tabela 3). Plásticos rígidos como PVC, PE, PP são usados para a construção de tubos e tanques de armazenamento. Alguns tanques de aço carbono são revestidos internamente com chapas flexíveis de borracha ou PVC plastificado. As borrachas também são usadas como vedações de gaxetas para válvulas, tubos, trocadores de calor e anéis de vedação de bombas.

Os compósitos são produzidos a partir de dois constituintes: uma matriz e materiais de reforço. Vários compostos incluem uma matriz metálica e reforços de carbonetos e nitretos; outros compósitos são constituídos por uma

matriz de resina e fibra de vidro ou fibra de carbono como reforço. O concreto, um material útil, possui uma matriz mineral e barras de aço para reforço.

Os compostos são utilizados para a fabricação de tubulações, bombas e acessórios para transporte de água em DP, para recipientes de armazenamento de água e combustível e para canais para transporte de salmoura e água

resíduos. A deterioração do equipamento ocorre devido à fabricação defeituosa, delaminação ou impacto de choque.

O concreto reforçado com aço é usado para construir bases de contêineres para grandes tanques de armazenamento de líquidos e para canais de drenagem. O concreto é atacado por salmouras corrosivas, às vezes o concreto é protegido com tintas especiais ou folhas de borracha flexível.

7.2 Materiais para equipamentos de bombeamento de água do mar

Uma vez que a escolha de materiais para água do mar é muitas vezes confusa, esta discussão será limitada àqueles que são mais comumente usados para bombas de água do mar, conforme mostrado na Tabela 3. A escolha de materiais continua a crescer à medida que mais e mais ligas especiais são usadas. São introduzidos no mercado. Para grandes bombas de entrada de água do mar, a escolha mais provável de materiais agora disponíveis comercialmente inclui os tipos de metalurgia mostrados na Tabela 4.

<ul style="list-style-type: none">• Austenitic Nickel Cast Iron [Ni-Resist & Ductile Ni-Resist]• Aluminum-Bronze and Nickel-Aluminum Bronze• Standard Austenitic Stainless [300 series and cast CF & CG types]• Super-Austenitic Stainless [6% molybdenum with PREN > 45]• Standard Duplex [Grades with PREN < 40]• Super-Duplex Stainless [Grades with PREN > 40]• Nickel Based Alloys [Inconel and Hastelloy]• Titanium Alloys
--

Tabela 4. Ligas Comuns Usadas para Bombas de Água do Mar

Tradicionalmente, as bombas que manuseiam a água do mar são construídas a

partir de ferros fundidos austeníticos como Ni-resist, cobre-níquel, Monels®, bronzes de alumínio e aços inoxidáveis austeníticos ou duplex. A tendência tem sido em direção a ligas super austeníticas ou superduplex aprimoradas com nitrogênio de alta liga e ligas à base de níquel, que oferecem maior confiabilidade, desempenho de prolongamento da vida útil e valor em ambientes de água do mar altamente clorados. os seguintes tipos de categorias:

- Fabricações AISI Tipo 316L ou Fundições ACI Tipo CF3M com Eixos Duplex Tipo 316L em Aço Inoxidável, Nitronic 50 ou Tipo 2205
- Carcaças dúcteis resistentes a níquel ou Ni com impulsores ACI Tipo CF3 Mi e eixos de aço inoxidável duplex Tipo 316L, Nitronic 50 ou Tipo 2205
- Fabricações ou fundições de alumínio-bronze com rotores de níquel-alumínio-bronze ou ACI tipo CF3M e eixos AISI tipo 316, Nitronic 50 ou Monel® K500
- Fabricações ou peças fundidas de aço inoxidável duplex padrão com eixos de liga duplex 2205
- Aço inoxidável super duplex com eixos super duplex tipo 2507
- Aço inoxidável super austênico com eixos superduplex tipo 2507

A experiência do usuário ao longo dos anos e as muitas bombas em serviço em todo o mundo mostram que os problemas de campo usando AISI Tipo 316L com ACI Tipo CF3M são praticamente inexistentes com controles adequados. Em alguns casos, a proteção catódica é necessária quando há serviços intermitentes ou condições de estol. No entanto, nos serviços de água quente mais agressivos, deve-se reconhecer que materiais de alta liga, como ligas super austeníticas e super duplex e/ou ligas à base de níquel, são os materiais de construção preferidos. Hoje, as bombas multiestágio horizontal de tambor e turbina vertical são projetos comprovados e aceitos em muitos sistemas de água do mar devido à sua adaptabilidade às mudanças nas necessidades do sistema. As opções de materiais apresentadas para bombas de turbina verticais

são aplicáveis a muitos tipos de bombas, incluindo também projetos de bombas multiestágio e de caixa dividida, e são apresentadas aqui para destacar algumas opções de projeto de materiais. A seleção da bomba correta depende da seleção adequada de ligas para a aplicação e ambiente de serviço. Há um grande número de opções de seleção de materiais e ligas de bombas para serviços de água do mar, portanto, as recomendações sobre design e seleção de materiais serão fornecidas apenas em termos gerais.

Opção de custo mais baixo 1 – Listada como base para comparação de custos. Embora essa combinação tenha sido usada em água do mar, a vida útil é limitada com aço carbono revestido e os reparos são previsíveis dependendo da integridade dos revestimentos. Esta combinação de fundidos de aço inoxidável 316/CF8M e colunas de aço carbono revestidas com flanges de aço inoxidável 316 é o material de menor custo oferecido para serviço de água do mar. Além disso, a proteção catódica deve ser fornecida para proteger contra danos acelerados por pites localizados e corrosão em frestas.

Opção 2 de custo médio - A troca de materiais por um aço inoxidável 316 de grau completo com eixos Nitronic 50 de maior resistência oferece boa resistência à corrosão e vida útil da bomba ao manusear água do mar em movimento em condições de corrosão. estagnado, a menos que seja fornecida proteção catódica e tenha características relativamente boas em aplicações somente de fluxo. Esses materiais tendem a cair em água parada, e a proteção catódica deve ser usada para fornecer proteção contra estagnação ou serviços de espera intermitentes.

Opção 3 de custo médio: Acredita-se que ligas de alumínio-bronze fundido, bronze de níquel-alumínio e resistência a Ni proporcionam boa resistência à corrosão ao manusear água do mar corrente e proporcionam boa vida útil. Esta construção é a mais comum devido às múltiplas vantagens oferecidas pelo grupo Al-Bronze. O

bronze de alumínio resiste à incrustação marinha, resiste à corrosão em água parada e oferece boa proteção contra cavitação e erosão, mas essas ligas têm uma tendência a afundar em água parada e as perdas por erosão em condições de fluxo mais altas são mais prováveis em bombas maiores que operam em velocidades de fluxo maior. Resist ou bronze são usados com componentes internos de aço inoxidável Tipo 316. A proteção catódica fornecida ao aço inoxidável pode ser uma opção de projeto útil para proteger o aço inoxidável de danos localizados por corrosão. Com esta combinação Ni-resist/316 SS ou bronze/316 SS, as cubas Ni-resist ou bronze fornecerão alguma proteção catódica ao impulsor 316 SS durante longos tempos ociosos para ajudar a evitar corrosão. No entanto, as ligas de bronze podem ser danificadas na água do mar com sulfeto de hidrogênio, então a água do mar deve ser pura e livre de sulfetos.

Opção 4 de custo mais alto – O uso de aços inoxidáveis duplex padrão (tipos 2205 ou CD4MCuN fundido) com PREN inferior a 40 oferece boa economia em uma aplicação de serviço contínuo, mas pode corroer em condições estagnadas com menos risco de corrosão localizada associada ao tipo 316 SS Construções austeníticas Sob condições estagnadas, essas ligas inoxidáveis duplex de alta liga melhoram a resistência à corrosão localizada, mas ainda é provável que ocorram danos por corrosão em frestas sob depósitos. Em águas do mar mais quentes, os danos ainda são uma preocupação, e o duplex padrão deve ser selecionado com cautela. A proteção catódica também é recomendada para essas classes duplex de ligas mais baixas.

Opções de custo mais alto 5 e 6: Use construção de liga super duplex ou super austenítica com 6% de molibdênio. e água do mar do Oriente Médio mas altamente corrosiva. Esses graus de aço inoxidável de liga mais alta são os materiais de água do mar preferidos para confiabilidade e longa vida útil da bomba.

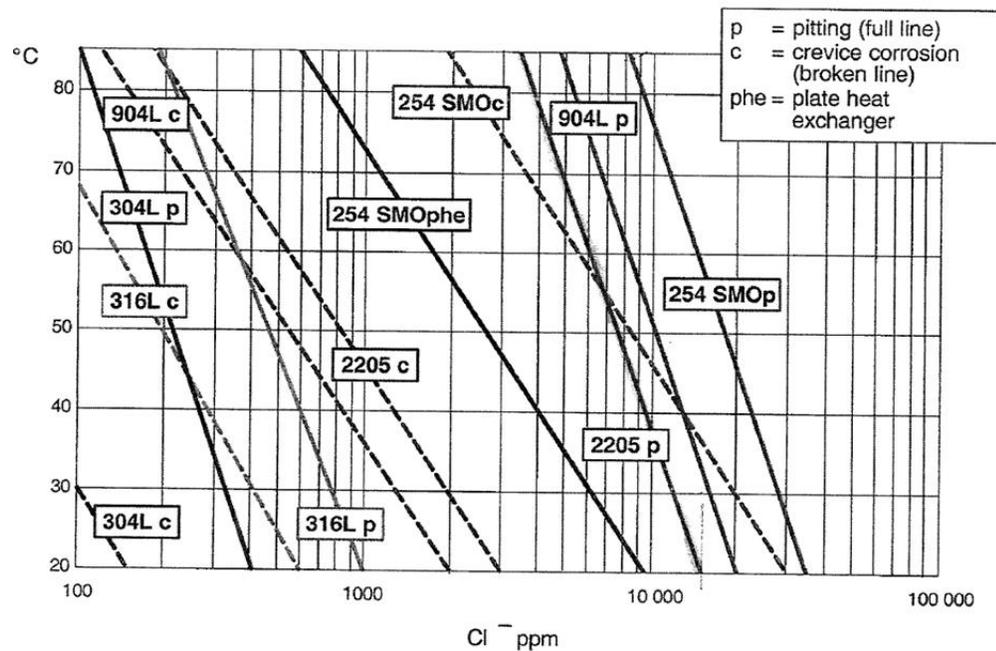


Figura 7. Gráfico de temperatura versus concentração de cloreto para seleção de materiais adequados em sistemas de dessalinização

7.3 Metais para recipientes

Para água do mar bruta, metais exóticos como titânio, Hastelloy C e cobre-níquel (70-30 ou 90-10) devem ser usados para evitar corrosão severa. O aço inoxidável (Tipo 316 ou 304) apresentará corrosão severa em uma aplicação de água do mar corrente. Isso pode ser reduzido um pouco com a atualização para o aço inoxidável duplex. Os vasos podem ser feitos de aço carbono padrão, mas devem ser revestidos com um revestimento interno para evitar corrosão. Os materiais comuns para o revestimento interno dos recipientes são borracha de neoprene ou epóxi curado com amina preenchido com flocos de vidro. Ambos os revestimentos de epóxi e neoprene são resistentes a 200°F. Os tubos de aço carbono padrão podem ser usados na água do mar após a remoção do oxigênio dissolvido.

7.4 Estruturas

As infraestruturas de dessalinização da água do mar requerem uma seleção cuidadosa de materiais com elevada resistência à corrosão. As altas temperaturas da água do mar em regiões quentes, onde muitas usinas de dessalinização são desenvolvidas, devem ser claramente consideradas em termos de corrosão do material. O aço carbono lidera o material mais comum como econômico e disponível no mercado, porém suas vantagens sobre a corrosão são nulas, para o qual se implementa um sistema de proteção adequado ao meio ambiente e a durabilidade desejada a que será submetido e desta forma estende sua utilidade à vida. A proteção contra a deterioração é alcançada através da aplicação de revestimentos e forros que atuam como uma barreira não reativa entre o meio ambiente e o material a ser protegido.

Enquanto os revestimentos são geralmente aplicados na forma líquida ou em pó ou

depositados em solução, os revestimentos são aplicados como materiais sólidos, como folhas de borracha. Alguns revestimentos vêm na forma de resinas de poliéster ou epóxi reforçadas com flocos ou fibras de vidro.

As tintas são misturas complexas que são aplicadas como um filme líquido em uma superfície e endurecem para formar uma camada protetora sólida. Para proteger contra a corrosão, uma demão de tinta deve apresentar boa coesão e adesão, baixa permeabilidade ao ar e à umidade e alta resistência química.

Para garantir o sucesso de um revestimento, a superfície do material a ser protegido deve ser adequadamente limpa antes da aplicação do revestimento. Os pré-tratamentos químicos e mecânicos apropriados são especificados nos códigos de prática emitidos pelo Steel Structure Painting Council (SSPC), o Swedish Standards Institute (SIS), a National Association of Corrosion Engineers (NACE) e outras organizações técnicas.

7.5 Tubulações e conexões

Tubos de plástico

O tubo de plástico é o material mais comum para o serviço de água do mar bruta de baixa a moderada pressão. Tem uma classificação de pressão de até 450 psig, dependendo do tamanho do tubo. O tubo de plástico:

- Não suscetível à corrosão interna ou externa em serviço de água do mar
- Tem um baixo fator de atrito
- Tem um peso leve que facilita a instalação

Em geral, tubos de plástico podem ser adquiridos de acordo com as seguintes especificações do American Petroleum Institute (API):

- Especificações 5LE para tubo de polietileno (PE)

- Especificações 5LP para tubo termoplástico [cloreto de polivinila (PVC) e cloreto de polivinila clorado (CPVC)]
- Especificações 5LR para tubulação de resina termofixa reforçada (RTRP)

Devido à resistência superior e maior resistência à pressão interna e à corrosão, o plástico reforçado com fibra (FRP) é o material mais comumente usado para este serviço. Este tubo está disponível como um material de éster de vinil reforçado com fibra de vidro enrolado em filamento, geralmente com um revestimento reforçado rico em resina. Está disponível até 16 polegadas. tamanho nominal do tubo e uma classificação de pressão de 150 a 450 psig (isso diminui com o diâmetro do tubo). O tubo FRP tem a desvantagem de ser muito quebradiço, o que pode causar danos durante a instalação. A luz ultravioleta (UV), ou luz solar, pode degradar a resistência física do FRP atacando a ligação resina-vidro. Pigmentos ou corantes são incorporados à resina para formar uma barreira à penetração de UV no laminado, o que mantém a degradação apenas para ataque superficial. Em certos casos, um invólucro, como uma camada de véu orgânico, pode ser usado para fornecer uma resistência ainda maior aos raios UV.

7.6 Válvulas

Muitos problemas de corrosão em sistemas de água do mar ocorrem nas válvulas. Muitas vezes, esses problemas são devido ao uso de válvulas de aço ou ferro fundido com tubulação não ferrosa. Embora a vida útil dessas válvulas em um sistema de tubulação de aço ou ferro fundido seja curta (ou seja, dois a três anos) quando instaladas em um sistema de liga, pode ser inferior a um ano devido aos efeitos galvânicos do tubo.

Os três principais componentes de uma válvula são o corpo, as sedes da válvula e os eixos ou hastes; estes serão considerados separadamente.



Figura 8. Principais componentes de uma válvula

No entanto, deve-se notar que em um sistema com uma velocidade nominal da água do mar de alguns metros por segundo de vazão através da válvula, a válvula, dependendo de seu projeto, pode gerar velocidades locais e turbulências muito maiores. , principalmente quando as válvulas são usado para estrangulamento.

7.7 Proteção catódica

A Proteção Catódica é um método eletroquímico de prevenção e controle da corrosão, que consiste na polarização do metal a ser protegido, em potenciais mais eletronegativos do que o potencial natural do referido metal.

A Proteção Catódica é a única tecnologia de proteção ativa que garante proteção contra a corrosão galvânica e os tipos mais frequentes de corrosão em solos. Um sistema de proteção catódica bem projetado e eficaz pode garantir proteção contra corrosão por mais de 25 anos.

O projeto de proteção catódica para uma estrutura é normalmente usado em combinação com um sistema de revestimento.

O uso de revestimentos pode reduzir drasticamente a demanda atual por proteção catódica, especialmente para aplicações onde se

espera que a demanda atual por proteção catódica de superfícies metálicas nuas seja alta (incluindo aplicações em águas profundas onde a formação de depósitos calcários pode ser lenta). Para estruturas sensíveis ao peso com vida útil estendida, a combinação de um revestimento e proteção catódica provavelmente fornecerá o controle de corrosão mais econômico. Para alguns sistemas com vida útil muito longa, a proteção catódica pode não ser prática sem o uso de revestimentos. Além da redução na demanda atual devido aos revestimentos, os revestimentos também podem melhorar a distribuição de corrente.

Uma consequência da aplicação da proteção catódica é a formação de uma camada calcária (constituída principalmente por carbonato de cálcio) nas superfícies metálicas nuas a serem protegidas. A espessura da camada é tipicamente da ordem de um décimo de milímetro, mas podem ocorrer depósitos mais espessos. A camada calcária atua como uma barreira de difusão de oxigênio que pode reduzir a demanda atual por proteção catódica.

Os revestimentos a serem usados em combinação com a proteção catódica devem ser compatíveis com a proteção catódica.

A compatibilidade é estabelecida por testes de pré-qualificação do produto de revestimento dentro dos limites aplicáveis.

Por natureza, os revestimentos podem se deteriorar durante sua vida útil. Para compensar isso, os fatores de ruptura do revestimento de projeto usados para o projeto de proteção catódica são deliberadamente selecionados de forma conservadora para que uma capacidade de saída de corrente final total suficiente do sistema de proteção catódica seja mantida.

Os fatores de degradação do revestimento do projeto dependem do tipo de sistema de revestimento instalado e do ambiente de serviço

experimentado. Sistemas de revestimento usados para proteção contra corrosão de navios flutuantes offshore, estruturas como anteparas de aço, estacas de aço suportando píeres, plataformas de perfuração offshore e outras estruturas similares podem ser protegidas catodicamente com sistemas de ânodo de sacrifício galvânico ou sistemas de corrente impressa.

Os sistemas de anodos galvânicos na água do mar, em sua maioria, usam anodos muito mais pesados do que os usados em terra. O ambiente de água do mar de baixa resistividade tende a exigir densidades de corrente de proteção mais altas e também permite saídas de corrente mais altas dos anodos. Conseqüentemente, a maior massa corrosiva é necessária para fornecer uma vida razoavelmente longa.

Para estruturas que podem ser polarizadas, um material de anodo galvânico de baixo potencial, como zinco ou alumínio, geralmente é preferível a um material de alto potencial, como magnésio. O magnésio funcionará perfeitamente bem, mas pode consumir mais corrente do que o necessário. Isso resulta em eficiência reduzida e vida útil mais curta para os ânodos. Em alguns ambientes de cloreto, os ânodos de magnésio têm uma tendência maior do que outros materiais galvânicos à auto corrosão, reduzindo ainda mais sua vida útil.

Ânodos de liga de zinco ou alumínio adequados podem polarizar uma estrutura de aço na água do mar dentro de alguns milivolts do potencial característico do próprio ânodo. Suponha que a tensão de condução estabilizada entre o ânodo e a estrutura polarizada seja de 0,050 V, embora possa ser menor. Essa capacidade de manter a polarização em uma corrente relativamente modesta consumirá os ânodos em uma taxa eficiente.

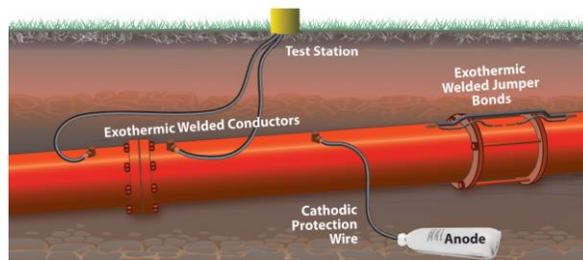


Figura 9. Representação esquemática da proteção catódica em dutos

8. Conclusões

O processo de dessalinização da água do mar por osmose reversa atende aos melhores parâmetros tecnológicos e de eficiência; Outros processos de destilação, como evaporação flash multi-efeito e multiestágio, são adequados, mas implicariam um investimento inicial muito caro e um custo muito alto de manutenção e limpeza, além de consumir quantidades consideráveis de energia devido a mudanças no estado físico.

Nos processos de dessalinização da água do mar por osmose reversa, é importante complementá-la com a utilização de tratamentos físico-químicos que costumam ser muito importantes e fundamentais para aumentar a vida útil das membranas.

Os processos de dessalinização da água obviamente ganharão peso com o passar do tempo, devido ao mau uso dos recursos naturais e ao iminente crescimento populacional.

Deixando de lado os aspectos técnicos, devemos ter em mente que é um ambiente complexo, portanto, os materiais utilizados precisam ter características muito específicas:

As tubulações marítimas devem ser construídas com materiais resistentes à corrosão e cujas propriedades não diminuam quando em contato com a água salgada.

Os materiais nas usinas de dessalinização devem ter propriedades mecânicas muito específicas. Com isso nos referimos ao seu comportamento contra certas ações mecânicas

externas, como forças ou deslocamentos. No caso de tubos de dessalinização, a dureza seria uma boa propriedade mecânica.

A disponibilidade e o acesso a esses materiais também é uma questão importante, além de seu custo moderado.

9. Bibliografia

Corrosion Resistant materials for seawater RO Plants. Ata M. Hassan and A.U. Malik, 74 (1989), pp 157-170.

Selection of Materials for Building Desalination Plants. Michael Schorr*, Benjamin Valdez - Salas, Ernesto Beltran - Partida, Jorge Salvador - Carlos. Department of Corrosion and Advanced Materials, Engineering Institute of Baja California, Mexicali, Mexico.

Materials Selection for Seawater pumps. Stephen J. Morrow. Chief Metallurgist & Global Manager Of Materials Technology, ITT Corporation, Industrial Process Lancaster, Pennsylvania.

Projeto de uma usina de dessalinização de água do mar na área do médio-alto Guajira Arnold Alberto Imitola Gonzalez, Ashley David Lopez Ortega, Julián Andrés Ramírez Gutiérrez divisão de engenharia Departamento de Engenharia Mecânica Barranquilla, Colômbia novembro de 2019

Folheto Veolia Water Technologies Espanha - Dessalinização por osmose reversa - Experiência para lidar com a escassez de água. setembro de 2016

Técnicas de dessalinização da água do mar e seu desenvolvimento no México, Dévora Isiordia, Germán E.; Gonzalez Enriquez, Rodrigo; Ponce Fernandez Nora E. Ra Ximhai, vol. 8, não. 2., maio-agosto de 2012, p. 57-68

Universidade Autônoma Indígena do México
El Fuerte, México

Análise dos processos de dessalinização de água do mar aplicando inteligência competitiva e tecnológico

Jorge Lechuga A., Marisela Rodríguez and Joaquim Lloveras M.
Engenharia 11-3 (2007)

Manual de Instalação e Operação, Recuperação de Energia PX(TM)-Q300, Documento ERI Número 80326-01 Rev 0

Buros O.K., O ABC da Dessalinização. Associação Internacional de Dessalinização, 2ª Ed., EUA, 2000.

O que é a dessalinização da água?, AEDyR, Associação Espanhola de Dessalinização e Reutilização

<https://aedyr.com/que-es-desalacion-agua/#:~:text=La%20desalaci%C3%B3n%20de%20agua%20es,conoce%20com%C3%BAment e%2C%20en%20agua%20dulce.>

As dez maiores usinas de dessalinização do mundo, Water-TS, 01 de julho de 2021

<https://es.rowater-ts.com/news/the-largest-desalination-plants-in-the-world-47831545.html>