

IMIA - WGP 57 (08)

Plantas Desalinizadoras – Desarrollo tecnológico, Riesgos que afectan a los Aseguradores de Ingeniería y Experiencia Siniestral

Conferencia de IMIA en Gleneagles, Escocia. 16 de Sept. 2008.

Preparado por

Jürg Buff, Partner Re
Robert Glynn, Benfield
Silvio Fischer, Partner Re
Hans Mahrla, Infrassure Zurich (Chairman)
Jean-Paul Perrin, SCOR, France

Traducido por Javier Rodriguez Gómez, Consultor en Re + seguros. México, D. F.

IMIA - WGP 57 (08)

Plantas Desalinizadoras – Desarrollo tecnológico, Riesgos que afectan a los Aseguradores de Ingeniería y Experiencia Siniestral

Índice

1. Introducción
 - 1.1 Objetivo de éste Documento
 - 1.2 Historia de la Desalinización
 - 1.3 Aspectos Económicos
 - 1.4 Abreviaciones
2. Entendiendo la Desalinización del Agua
 - 2.1 Generalidades
 - 2.1.1 Ósmosis Inversa (OI)
 - 2.1.2 Destilación Flash en Etapas Múltiples (DFEM)
 - 2.1.3 Destilación de Múltiple Efecto (DME)
 - 2.2 Diseño de Plantas Desalinizadoras
 - 2.2.1 Determinación de los Parámetros de Diseño
 - 2.2.2 Selección del Método
 - 2.2.3 El Cronograma de Obra y La Ruta Crítica
 - 2.3 Aspectos Energéticos
 - 2.3.1 Consumo Característico de Energía
 - 2.3.2 Producción / Suministro de Energía Característicos
 - 2.3.3 Fuentes de Energía Renovable para la Desalinización
 - 2.4 Costos de Construcción
 - 2.4.1 Desglose Característico de Costos
 - 2.5 Aseguramiento de Calidad
3. Exposiciones Generales Características durante la Construcción
 - 3.1 Riesgos de la Naturaleza
 - 3.2 Condiciones del Terreno
 - 3.3 Diseño, Materiales, Mano de Obra y la Calidad del Personal Usado
 - 3.4 Levantamiento de Cargas Pesadas
 - 3.5 Riesgos en agua
 - 3.6 Exposiciones a Responsabilidad Civil
 - 3.7 Exposiciones Financieras
 - 3.8 Riesgos Políticos
4. Consideraciones sobre la Pérdida Máxima Probable (PML)
5. Ejemplos de Siniestros Típicos

1. Introducción

1.1 Objetivo de éste documento.

La finalidad de este documento es ayudar a los suscriptores a entender los diversos procesos de desalinización, la construcción y operación de plantas desalinizadoras grandes y crear conciencia sobre los riesgos especiales a que están expuestas las plantas en esas dos fases. Debe ayudar a realizar un análisis de riesgos profesional y a suscribir profesionalmente y dirige la atención a escenarios de siniestro posibles y característicos mediante unos pocos ejemplos ilustrativos.

Este documento aborda los procesos de desalinización y los aspectos técnicos más comunes. En la segunda parte se discute diversas exposiciones, análisis individuales de suscripción y seguridad, administración de riesgos y aspectos de seguridad y protección. Finalmente presenta algunos ejemplos de siniestro.

En éste trabajo no se aborda en detalle

- pequeñas plantas desalinizadoras
- aspectos especiales de la desalinización de agua salobre
- secciones de energía de las plantas
- consideraciones sobre los riesgos en agua para las estructuras de toma y descarga de agua.

Para la sección de energía y de los riesgos en agua, sugerimos revisar los documentos publicados en los años recientes por IMIA sobre estos temas, que brindan un mayor detalle sobre aspectos específicos.

Los recursos acuíferos de la tierra

- 70 % de la superficie terrestre está cubierta por agua
- aunque aparentemente abundante, lo único real es la cantidad de agua disponible
- 97.5 % de toda el agua de la tierra es salada. Toda el agua es ~1,400 millones de km³.
- sólo el 2.5 % es agua dulce; es decir, ~35 millones de km³,
- aprox. 70% del agua dulce; es decir ~24 millones de km³ está congelada en las capas de hielo de la Antártida y de Groenlandia
- cerca del 29% es humedad del suelo o se encuentra en las profundidades de la tierra y no es accesible para uso humano
- menos del 1% de toda el agua dulce que, a su vez, es menos del ~ 0.02 % de toda el agua de la tierra, se encuentra en lagos, ríos, depósitos, embalses (presas) y fuentes poco profundas. Sólo ésta cantidad es renovada regularmente por la lluvia y nevadas y está fácilmente disponible para uso humano, aunque no lo esté para toda la humanidad debido a su azarosa distribución. Como ejemplo: el río Amazonas representa el 15% del agua corriente global, pero normalmente está disponible sólo para el 0.4 % de la población mundial
- la mayor parte del agua usada no se regresa a los ríos, corrientes y lagos: se consume. Sólo la agricultura; es decir, irrigación, etc. representa el 87 % del uso global de agua y en su mayoría se consume (filtración en el suelo, evaporación de la transpiración de las plantas).

Como ejemplo, actualmente, los seis mil millones de personas de nuestro planeta, usan cerca del 30% de las fuentes renovables accesibles de agua. Con las tendencias actuales, se espera que este valor alcance el 70% en 2025 y podría aún excederlo si, p. ej. la producción de biodiésel crece en una medida mayor – se necesitan 4,000 litros de agua para producir un litro de biodiésel. Aún más, el problema se agrava por el rápido crecimiento de la población (demanda creciente) y el decreciente suministro (contaminación). Así, no es excepcional que el deseo histórico de producir agua dulce a partir del agua de mar sea hoy el principal impulsor de la industria de la desalinización.

1.2 Historia de la Desalinización

Aristóteles y otros mencionaban ya en el Siglo IV AC la destilación del agua de mar. En siglos posteriores, la destilación fue usada en naves para proveer agua durante travesías marítimas de meses. Los marineros japoneses utilizaban recipientes de barro para hervir agua de mar y tubos de bambú para recolectar los condensados.

En 1790 se le pidió al Secretario de Estado Thomas Jefferson, investigar nuevos procesos de desalinización mediante la adición de productos químicos y la destilación con el fin de suministrar agua dulce a la Marina de los EEUU. Es muy probable que la primera planta desalinizadora comercial haya sido la construida en 1881, en Tigne/Slima, en la Isla de Malta.

En 1907 Turcos Otomanos instalaron la primera planta desalinizadora en Jeddah, nombrada Al Kindasah (del inglés: condensador) que da testimonio del origen británico de esta tecnología en el Oriente Medio.

Los barcos de vapor no tienen problema para producir agua destilada.

Después de la 2ª Guerra Mundial aumentó la necesidad de agua para agricultura, industria y uso municipal.

En consecuencia, la tecnología de desalinización se desarrolló rápidamente durante las décadas recientes.

1.3 Aspectos Económicos

Hoy, la desalinización produce apenas una pequeña porción del consumo total de agua:

Capacidad mundial a inicios de	2006	40 Millones de m ³ /día
Capacidad Objetivo	2010	65 Millones de m ³ / día + 60%, pronóstico de Inversiones de USD 25,000 Millones
Capacidad Objetivo	2015	100 Millones m ³ / día + 150%, pronóstico de Inversiones de USD 60,000 Millones

Con las tendencias actuales, debe esperarse que más de la mitad de este capital venga del sector privado.

Por lo tanto, la desalinización está más abierta a la participación del sector privado que cualquier otro segmento de la industria del agua.

Más aún, la desalinización es el segmento internacional de más alta tecnología de la industria del agua.

Como resultado de éste incremento de capacidad, los gastos de operación también crecerán.

Se pronostica que los gastos de operación globales en la industria de la desalinización crecerán como sigue:

Inicios de	2006	USD 6,500 Millones
	2010	USD 10,000 Millones
	2015	USD 15,000 Millones

Como conclusión, puede decirse que la construcción, así como la operación presentarán retos y oportunidades a los mercados de seguros.

1.4 Abreviaciones y definición

Con el fin de simplificar, se usarán las siguientes abreviaciones en este documento:

AS	Agua Salada
CMV	Compresión mecánica de vapor
ED	Electrodialisis
DFEM	Destilación Flash en Etapas Múltiples
DME	Destilación de Múltiple Efecto
OI	Ósmosis Inversa
OIAM	Ósmosis Inversa del Agua de Mar
SDT	Sólidos Disueltos Totales

Riesgos en agua (Wet Risks).

No hay una definición única para este nombre usado cada vez más en los sectores asegurador y reasegurador internacional y tampoco existe un nombre genérico en español para este

concepto. Así, usando diversas fuentes, creemos necesario proponer el siguiente nombre y la siguiente definición.

RIESGO EN AGUA.

- El sitio de obra y/o parte de las obras del proyecto que están o podrían estar en contacto o a una estrecha proximidad de un cuerpo de agua o de cualquier ambiente acuoso y que
- Tal contacto y/o proximidad causen que el sitio de obra y/o parte de las obras estén expuestos predominantemente (o bajo amenaza) o sean muy susceptibles a las fuerzas del agua (inundación, olas y/o corrientes relacionadas).

Esto incluye todas las construcciones sobre las obras de cimentación y subestructura expuestas a la acción de las olas, corrientes o incremento de los niveles de agua (por ejemplo, marea alta), como: Construcción de puertos, rompeolas, diques, atracaderos, muelles (o terminales), dársenas, toma o descarga de agua en plantas generadoras de energía, desalinizadoras; drenaje, dragado o ampliación de ríos, presas; mitigación de inundación y construcción de puentes, perforación y construcción de túneles y similares.

2. Entendiendo la Desalinización del Agua

2.1 Generalidades

El proceso de desalinización incluye tres etapas principales:

- Pre-tratamiento

El agua de alimentación es pre-tratada, eliminándole los sólidos suspendidos, ajustándole el pH y agregándole un inhibidor para controlar la incrustación causada por componentes como el sulfato de calcio.

La sección de pretratamiento de la planta incluye elementos tales como la estructura de toma de agua de mar, la casa de bombas y la planta de tratamiento de agua.

Dependiendo del proceso seleccionado, se eliminan los sedimentos, materia orgánica y otras partículas microscópicas y el agua que entra a la planta se trata con productos químicos para permitir el asentamiento de partículas. Luego se hace pasar a través de cribas viajeras que retienen conchas y otros desechos más grandes.

El agua cribada pasa entonces por cámaras de sedimentación. De manera similar a un proceso de tratamiento tradicional de agua superficial, las partículas en el agua acondicionada se aglutinan y sedimentan. El próximo paso en el pre-tratamiento es la filtración con arenas, donde se separan del agua las partículas más pequeñas.

- Desalinización

La sal se separa del agua usando uno de los siguientes dos métodos principales:

- Procesos de membrana: ósmosis inversa y electrodiálisis, que usan una membrana semipermeable para crear dos zonas con diferentes concentraciones de sal y
- métodos térmicos que incluyen el calentamiento del agua para producir vapor: Destilación Flash en Etapas Múltiples (DFEM), Destilación de Múltiple Efecto (DME) y compresión mecánica de vapor (CMV).

- Post-tratamiento

El agua producida por el equipo de membranas requiere usualmente del ajuste del pH y de una desgasificación antes de enviarla al sistema de distribución para usarse como agua potable. El producto pasa por una columna de aireación en la que se eleva el pH de aproximadamente 5 a un valor cercano a 7.

La parte de post-tratamiento de la planta incluye la estructura de salida, el depósito de agua los tanques de almacenamiento de agua y el manejo de salmuera. En caso de producir agua potable, se agrega productos químicos para estabilizar el agua.

Manejo de desperdicios:

Los desperdicios de las plantas de desalinización incluyen salmuera concentrada, líquidos de retro-lavado que contienen sales incrustantes y corrosivas, reactivos anti-incrustación y, en los lodos de desperdicio de los filtros, reactivos usados en el pretratamiento. Dependiendo de la ubicación y otras circunstancias como el acceso al mar, acuíferos sensibles y la concentración de sustancias tóxicas, etc., los desperdicios pueden ser desechados directamente al mar, mezclados con otros desperdicios generados antes de desecharlos, descargados al drenaje o procesados en una planta de tratamiento de aguas residuales, enviados a presas / tanques de evaporación, secados y desechados en rellenos o montones de sales.

Si se descargan al mar, la concentración de sal se incrementa en áreas de aguas someras. Esto amenaza con ser un problema creciente en las regiones del Golfo Árabe o Pérsico en el futuro cercano. Suponiendo una salinidad promedio de 3.5%, cada metro cúbico de agua desalinizada produce 35 kg de sal pura.. Tomando una planta promedio en el oriente medio con una producción diaria de 200,000 m³ de agua, debe tratarse aprox. 7,000 toneladas de sal pura por día.

En adición a las secciones antes mencionadas de una planta desalinizadora, el equipo auxiliar incluye el sistema de protección contra incendio, la instrumentación y los controles.

Puede requerirse **obras civiles** adicionales. Dependiendo de la ubicación, puede incluso haber túneles como parte del proyecto, sea como canal de entrada o de salida para descargar la salmuera.

Los métodos de desalinización más usados son la Ósmosis Inversa, la Destilación Flash en Etapas Múltiples y la Destilación de Múltiple Efecto, de las que se proporciona una breve descripción enseguida:

2.1.1 Ósmosis Inversa (OI)

A continuación se muestran las tres etapas del proceso de desalinización por OI (1) pre-tratamiento, (2) presurización y separación de membrana y (3) estabilización post-tratamiento

Si dos líquidos con concentraciones diferentes de sólidos disueltos están en contacto entre sí, se mezclarán hasta que la concentración sea uniforme. Cuando estos dos están separados por una membrana semipermeable (deja fluir los líquidos, pero retiene los sólidos disueltos), el líquido con la menor concentración de sólidos disueltos fluirá a través de la membrana hacia la solución con mayor concentración. Después de un poco, el nivel del agua será más alto en uno de los lados de la membrana. La diferencia de altura es llamada presión osmótica.

Aplicando al líquido con la mayor concentración de sólidos disueltos una presión mayor a la osmótica, se tendrá un efecto inverso. Esta es la Ósmosis Inversa: se presuriza el agua salada para que fluya el agua a través de la membrana, mientras que los sólidos disueltos quedan del otro lado de la misma.

Debido a la presión ejercida sobre la columna en el lado del agua salada de la membrana, el agua fluye de ese lado al del agua "dulce". Se requiere presión suficiente, primero, para eliminar la presión osmótica natural y, segundo, para crear una presión extra sobre la columna de agua, con el fin de forzar el paso del agua a través de la membrana. Para desalinizar el agua de mar, la presión debe ser de, cuando menos, 50-60 bar y puede llegar hasta 100 bar.

La unidad de desalinización en una planta consta de una serie de membranas de OI dentro de varios recipientes presurizados, colocados en un cierto orden. El agua de alimentación que se bombea al módulo se separará en un agua con bajo y otra con alto contenido de sal. A la de bajo contenido se le llama "permeado" y, a la de alto contenido, "rechazo".

Las unidades de membrana espiral son ampliamente usadas, ya que pueden hacerse funcionar en serie dentro de un recipiente a presión. Esto significa que el agua de alimentación fluye varias veces a través de la membrana enrollada de forma tubular. Las unidades de fibra hueca no tienen este beneficio y requieren drenajes separados para el agua de alimentación, el permeado y el rechazo, resultando en costos más altos cuando se construyen a gran escala.

En un módulo espiral (ver la figura abajo), el agua de alimentación fluye dentro del recipiente presurizado a través de los canales espirales de la membrana.

Las membranas espirales en el recipiente a presión están interconectadas de tal manera que el agua de alimentación se concentre más y más. Cuando esta alimentación concentrada llega a la última membrana alcanza una presión mayor que la presión del otro lado de la membrana, lo que le permite fluir a través de ella. Se puede colocar una turbina en el circuito del concentrado, permitiendo recuperar hasta el 35% de la energía usada por las bombas.

El permeado de cada unidad de membrana es recolectado en un tubo colocado en el centro de cada membrana espiral, como se muestra a continuación:

Módulo espiral de una planta de OI

2.1.2 Destilación Flash en Etapas Múltiples (DFEM)

Cuando el agua entra en una cámara de vacío a una temperatura mayor a la de saturación de la cámara, ocurre la evaporación instantánea de una parte del agua. Este fenómeno llamado evaporación flash se usa para producir agua dulce a partir de agua de mar.

El principio de operación de la Destilación Flash en Etapas Múltiples se muestra enseguida:

Se hace circular agua de mar a través de los tubos del condensador de vapor de la etapa final, donde se calienta por la transferencia de calor latente del vapor condensándose. El agua de mar pasa a través de los condensadores de vapor de cada una de las etapas en serie, incrementando su temperatura y luego entra a los tubos del calentador de salmuera, donde toma lugar un nuevo incremento de temperatura para lograr el diferencial de temperatura necesario para que ocurra la evaporación flash.

Se puede usar cualquier fuente de vapor disponible. Las plantas de DFEM, en especial las grandes, frecuentemente se construyen con plantas generadoras de energía en un arreglo de cogeneración. El calor desperdiciado por la planta generadora se usa para calentar el agua de mar. Esto reduce la energía necesaria de la mitad a dos tercios, modificando así drásticamente la economía de la planta, ya que la energía es, con mucho, el costo de operación más grande de las plantas DFEM.

La temperatura del agua de mar después de la zona de calentamiento se regula en un rango de 90 - 120°C, de tal manera que se minimice la formación de incrustación en las superficies de transferencia de calor. Uno de los factores que afecta la eficiencia térmica de las plantas es la diferencia de temperatura entre el calentador de salmuera y el condensador en el extremo frío de la planta. El operar una planta a su temperatura límite más alta de 120°C tiende a incrementar la eficiencia, pero también aumenta el potencial de la dañina formación de incrustación y de la corrosión acelerada de las superficies metálicas.

El agua de mar caliente entra a la cámara de la primera etapa, donde ocurre la evaporación flash. El vapor producido en cada etapa se eleva a la parte más fría de la misma: los tubos del condensador de vapor, pasando a través de un deshumidificador para eliminar cualquier rocío de agua de mar. El vapor se condensa sobre la superficie exterior de los tubos y el destilado se recolecta en charolas. El agua de mar restante, cuya temperatura se ha reducido por la transferencia del calor latente al vapor, fluye entonces a través de las etapas restantes. Cada una de ellas opera a una presión y temperatura de saturación menores a las correspondientes de la etapa anterior, permitiendo así la evaporación flash en cada etapa.

El agua de mar remanente o salmuera se extrae de la última etapa y se bombea al desperdicio. Todo el destilado producido se extrae de la última etapa y se bombea al tanque de almacenamiento.

El número de etapas es usualmente de 15 – 25, hasta un máximo de 40 para las unidades industriales más grandes (ver la fotografía).

Vista de una planta DFEM

2.1.3 Destilación de Múltiple Efecto (DME)

La Destilación de Múltiple Efecto, igual que el proceso DEM, toma lugar en varios recipientes (efectos) y usa el principio de reducir la presión interna en los diversos efectos, para permitir que el agua de mar alimentada experimente múltiples ebulliciones sin aplicarle calor adicional después del primer efecto.

En una planta DME, el agua de mar entra al primer efecto y, después de precalentarse en los tubos, es llevada a su punto de ebullición. Las plantas DME, igual que las DFEM, frecuentemente se construyen con plantas generadoras que proporcionan la energía a bajo costo y mejoran la eficiencia global del sistema. Con el fin de propiciar una rápida ebullición y evaporación, el agua de mar se atomiza o se distribuye sobre la superficie de los tubos del evaporador como una película muy delgada. Los tubos se calientan con vapor proveniente de una caldera u otra fuente, que se condensa en los tubos, sobre el lado opuesto al lado por el que circula el agua de mar. El condensado del vapor de la caldera se recircula a la caldera para reusarse.

La superficie de todos los otros efectos se calienta con el vapor producido en cada efecto precedente. El vapor producido en el último efecto se condensa en un cambiador de calor separado que es refrigerado por el agua de alimentación y es llamado condensador final.

Sólo se evapora una porción del agua de mar distribuida en la superficie del cambiador de calor. El agua de mar restante de cada efecto (salmuera) frecuentemente se alimenta al tanque de salmuera del siguiente efecto, donde parte de ella sufre una evaporación flash. El vapor es también parte del proceso de calentamiento. El agua dulce producida se origina de todo el vapor condensado dentro de los efectos.

La presión en los diversos efectos se mantiene por un sistema de vacío separado. La eficiencia térmica del proceso depende del número de efectos y las plantas típicas constan de 8 a 16 efectos.

Las plantas DME usualmente se construyen para operar a una temperatura máxima de 70° C en el primer efecto, lo que reduce el potencial de incrustación por agua de mar dentro de la planta pero, a su vez, incrementa la necesidad de áreas adicionales de transferencia de calor, aumentando el tamaño de las plantas.

Las altamente eficientes plantas DME requieren un número considerable de efectos y amplias áreas de intercambio de calor, por lo que se usan cuando los costos de energía son altos. Cuando hay vapor de bajo costo disponible se reducen sensiblemente los costos de capital. Se puede agregar al sistema un ciclo de termo-compresión de vapor, lo que reducirá sensiblemente el número de efectos y superficies de intercambio de calor requeridas para la misma capacidad.

Vista de una planta DME

2.2 Diseño de Plantas Desalinizadoras

Cada planta desalinizadora es única en su diseño y forma de operación. El diseño depende en gran medida de la ubicación y del uso del agua dulce. Por tanto, en este documento sólo se harán comentarios muy generales.

2.2.1 Determinación de los Parámetros de Diseño

Los principales parámetros aplicables a un diseño específico son

- la capacidad de producción
- las características del agua a producir. La producción de agua potable requiere de equipo adicional de adición de minerales para asegurar que el agua producida cumpla con las normas sanitarias para el agua potable; el agua para fines industriales puede requerir de un valor diferente de pH
- Protección de los materiales
Las instalaciones de desalinización están expuestas a corrosión porque, por un lado, el agua salada es muy agresiva y, por otro, el agua pura desalinizada es altamente ácida. Por tanto, los materiales necesitan tener cierta resistencia a la corrosión. Esto aplica a las partes externas que están expuestas a un medio salino por derrames y fugas, pero también a las partes internas. La corrosión de las partes externas del sistema puede prevenirse usualmente con un recubrimiento (pintura, galvanizado) y mediante el mantenimiento periódico del sistema y el sellado de fugas. A pesar del hecho de que los materiales estén protegidos contra la corrosión potencial, también necesitan ser resistentes a la presión, vibraciones y temperaturas cambiantes. Para prevenir la corrosión y reacciones químicas en las partes del sistema que operan a baja presión (menos de 10 bar), se usan materiales

no metálicos como PVC y fibra de vidrio en los elementos de membrana y recipientes a presión. Para las partes a alta presión, en el rango de 10 a 70 bar, como bombas, drenajes y tapas se requieren metales para darles el mismo nivel de protección. El material usado principalmente para las partes de alta presión es el acero inoxidable. La ventaja del acero inoxidable es que es resistente a la corrosión y a la erosión.

- la ubicación como tal y la concentración de sal del agua salada en la ubicación elegida
- costos de capital y de operación
- el mantenimiento necesario y los respectivos costos involucrados.

2.2.2 Selección del Método

Los procesos de desalinización se utilizan para proporcionar agua dulce a muchas comunidades y sectores industriales alrededor del mundo. La región del Medio Oriente tiene la mayor parte de la capacidad de desalinización. La capacidad mundial instalada consiste principalmente en procesos DFEM y OI y, el resto, de DME y ED. La capacidad instalada de procesos de membranas y térmicos es aproximadamente igual, pero la mayoría de las plantas más viejas son unidades de destilación que se acercan al fin de su vida útil. Así, es probable que la capacidad total de operación de unidades de membranas vaya superando cada vez más la de las unidades térmicas.

La selección del método para desalinizar agua (OI, DFEM, DME) depende de varios factores.

- Propósito de uso del agua
- Disponibilidad y costo de la energía

El consumo de energía difiere dependiendo del proceso; p. ej. la mayoría de las plantas desalinizadoras en Australia usan ahora el método de OI, ya que la eficiencia de las membranas se ha mejorado significativamente y se ha reducido el consumo de energía, que ya es menor a la de otros métodos de procesamiento, mientras que la mayoría de las plantas en el Medio Oriente usan el proceso DFEM porque la energía es fácil y barata de obtenerse.

- Calidad y salinidad del agua
- Temperatura del agua

2.2.3 El Cronograma de Obra y la Ruta Crítica

La mayoría de las plantas desalinizadoras está diseñada con más de una línea de producción. Una planta desalinizadora típica opera con varias líneas de producción funcionando en paralelo. Esto proporciona flexibilidad y también redundancia. Sin embargo, la redundancia depende finalmente de si, según las condiciones contractuales, parte de la capacidad de producción es redundancia o capacidad adicional.

Debe cuidarse eventos no programados, como el retraso en el suministro de componentes clave, que pueden llevar a cambios en la secuencia y/o métodos de construcción y montaje. Estos cambios pueden afectar el Cronograma de Obra original.

2.3 Aspectos Energéticos

Dependiendo del proceso, de la temperatura y de la calidad del agua de alimentación, las plantas desalinizadoras requieren de cantidades significativas de electricidad y calor, que pueden representar del 50 al 75 % de los costos de operación. Las tecnologías de

desalinización usan bombas en varias etapas del proceso, p. ej., toma de agua de alimentación, bombas elevadoras de presión (booster), procesos de tratamiento y descarga de agua y concentrado. Las bombas consumen una cantidad significativa de energía.

Las plantas de OI usan bombas para presurizar el agua de alimentación y hacer que ésta fluya a través de las membranas. En la ED, las bombas presurizan el agua de alimentación para generar flujo a través de la superficie de las membranas. La cantidad de energía que consumen las bombas depende del tipo de proceso, de la concentración de SDT del agua de alimentación, de la capacidad de la planta de tratamiento, de la temperatura del agua de alimentación y de la ubicación de la planta con respecto a la de la toma de agua y de la del lugar de eliminación del concentrado.

La OI tiene la demanda más baja de energía y esto la hace más atractiva en muchos aspectos comparada con el proceso DFEM, de comprobada eficiencia.

2.3.1 Consumo Característico de Energía

Dado que cada tecnología de desalinización es única en diseño y forma de operación, es difícil comparar el consumo de energía de diferentes tipos de tecnología de desalinización.

No hay obstáculos técnicos mayores para la desalinización como medio para crear un suministro ilimitado de agua dulce; sin embargo, los altos requerimientos de energía plantean un desafío mayor. Teóricamente se requiere alrededor de 0.86 kWh de energía para desalinizar 1 m³ de agua salada, suponiendo una concentración de sal de 3.45% a una temperatura de 25°C. Esto equivale a 3kJ/kg.

Las plantas de desalinización actuales usan de 5 a 26 veces este mínimo teórico, dependiendo del tipo de proceso usado. Claramente es necesario hacer los procesos de desalinización tan eficientes energéticamente como sea posible mediante mejoras en tecnología y economías de escala.

El consumo de energía de las plantas OI depende de la salinidad del agua de alimentación y de la proporción de recuperación. Las plantas de OI para agua de mar consumen cantidades de energía más altas debido a la mayor presión osmótica del agua de mar comparada con la de las plantas de OI para agua salobre. La presión osmótica está relacionada con la concentración de SDT del agua de alimentación.

Las plantas de ED usan energía eléctrica para desalinizar el agua. El consumo de energía de la ED es directamente proporcional a la concentración de SDT del agua. La ED es económica sólo para aguas salobres (SDT < 4000 mg/L).

La tabla siguiente indica que el costo de producción de agua de una planta de OI es, con frecuencia, menos de la mitad del costo de producción con métodos de destilación.

Tabla 1. Requerimientos de energía de los tres principales procesos industriales de desalinización

	DFEM	DME	OI
Tamaño posible de la unidad (m ³ /día)	60'000	60'000	24'000
Consumo de energía (kWh/m ³) Eléctrica/mecánica	4-6	2-2.5	5-7
Térmica en Equivalente eléctrico de energía térmica (kWh/m ³)	8-18	2.5-10	No hay
Equivalente total de consumo de energía (kWh/m ³)	12-24	4.5-12.5	5-7

Fuente: International Atomic Energy Agency 1992.

Un estimado grueso, p. ej., en Australia es posible hoy producir agua desalinizada a partir de agua de mar por un poco más de \$1 dólar australiano/m³ para una planta con capacidad diaria de 100'000 m³/día. Para plantas más pequeñas y condiciones menos favorables, el costo puede estar en el rango de \$4 o más dólares australianos/m³.

2.3.2 Producción / Suministro de Energía Característicos

Las siguientes fuentes de energía podrían proveer vapor para el proceso de desalinización:

- Calderas convencionales de petróleo, gas o carbón o plantas cogeneradoras de energía,
- Biogás (gas de rellenos sanitarios o de aguas de desecho),
- Energía de biomasa (quemado de residuos verdes),
- Energía solar, mareomotriz (de las mareas), undimotriz (de las olas) y eólica.

La factibilidad de usar una o más de las opciones tecnológicas de generación de energía mencionadas arriba en una ubicación determinada depende también de factores económicos, ambientales y sociales, así como de la capacidad de la planta.

2.3.3 Fuentes de Energía Renovable para la Desalinización

Las fuentes de energía renovable más comunes son: solar, eólica, geotérmica y oceánica. Hoy, el uso de fuentes de energía renovables para la desalinización es muy limitado. No obstante, las energías renovables tienen potencial para accionar las plantas desalinizadoras del futuro. La desalinización propulsada por energías renovables puede ser una solución ideal para algunas pequeñas comunidades, donde un suministro razonable de combustible fósil no está disponible o es demasiado caro.

La energía solar es una promisorio fuente de energía renovable para accionar plantas desalinizadoras. La energía solar puede usarse directamente para la destilación simple o indirectamente mediante el uso de colectores solares. Con el rápido desarrollo tecnológico se vuelve más atractivo usar tales tecnologías en plantas de tamaño mediano. Su uso comercial a gran escala no es el caso actualmente.

2.4 Costos de Construcción

2.4.1 Desglose de Costos Característico

Una parte significativa del costo de desalinización es la producción de energía. Las plantas desalinizadoras son piezas sofisticadas de equipo con altos costos de capital y requerimientos de mantenimiento muy significativos. Las plantas de desalinización no tienen una vida útil tan larga como las plantas tradicionales de tratamiento de aguas, de tal manera que el capital debe amortizarse en una vida relativamente corta, lo que aumenta los costos. El costo real para una planta determinada depende mucho de la ubicación y también de su tamaño.

Un desglose de costos característico muestra los valores totales para las secciones de energía y de desalinización, ya que normalmente estas dos secciones se contratan totalmente separadas. Los conceptos clave del contrato de desalinización para cotizar los seguros podrían ser

- Equipo mecánico de la planta de desalinización
- Bombas (de toma, elevadoras de presión, descarga)
- Instrumentación y control, protección contra incendio

- Circuito de agua de refrigeración (en plantas DFEM)
- Equipo auxiliar
- Estructura de toma de agua de mar
- Estructura de descarga/salida
- Estructuras civiles (edificios, cimientos y otras)
- Almacenamiento de agua potable (tanques, depósito de agua)

Los demás desgloses detallados no son realmente significativos, ya que dependen mucho del proyecto.

Para una planta típica DFEM con cogeneración en el Medio Oriente, 1/3 de su valor corresponde a la planta de desalinización y 2/3 a la de generación de energía, sobre la base de un ciclo combinado en un arreglo de cogeneración.

2.5 Aseguramiento de Calidad

Estos contratos sólo se otorgan a los contratistas experimentados y calificados. Lo usual es que los ingenieros residentes experimentados controlen durante el período de construcción que se cumpla con los criterios de diseño y normas de construcción.

Fuera de los detalles específicos de los proyectos (diseño, ubicación, etc.), hoy en día, el componente más importante de un proyecto es que se realicen los procedimientos de aseguramiento y control de calidad. Anteriormente ya se hizo referencia en este trabajo a temas específicos de aseguramiento de calidad para plantas de desalinización; sin embargo, respecto a las aleaciones y aceros inoxidable es importante en todo proyecto que toda pieza sea probada en cuanto llegue al sitio de la obra para confirmar que cumple con las especificaciones del material o de la orden de compra. Esto debe hacerse aunque la pieza tenga la etiqueta correspondiente del fabricante, ya que la etiqueta puede estar equivocada. Es mucho más fácil substituir un artículo fabricado / especificado erróneamente cuando recién se entrega que cuando ya ha sido instalado y requiere ser reemplazado.

Especialmente importante es verificar los correspondientes procedimientos de soldadura en campo, la selección de tipos de varillas de soldadura a usar y radiografiar la cantidad requerida de soldaduras para cumplir o rebasar las normas pertinentes. Para los aceros inoxidable y/o aleados debería incluirse la radiografía de cada soldadura.

La mayoría de las plantas son instaladas en ubicaciones aisladas, donde la construcción es dificultosa y la disponibilidad de combustibles, productos químicos y refacciones requiere de una buena planeación

En estos lugares es usual la escasez de personal calificado; así, es frecuente reclutar personas de la localidad y deben ser entrenadas por los proveedores y fabricantes para operar las plantas.

Los fabricantes y proveedores usualmente están presentes durante la puesta en marcha y pruebas de la planta, entrenan al personal y entregan los manuales detallados de operación y mantenimiento. Además, hay universidades que ofrecen cursos relacionados a la desalinización y aún carreras para el manejo de esas plantas. Hay empresas consultoras altamente especializadas que ofrecen entrenamiento hecho especialmente para el personal de operación.

Esos programas de entrenamiento incluyen teoría y entrenamiento intensivo de campo en todas las secciones que integran la planta, capacitación básica y avanzada en los fundamentos de la

desalinización, plantas generadoras de energía y procesos asociados. Como resultado, puede reducirse el número de paros no programados e incrementar la producción diaria.

A excepción de los paros anuales programados de hasta 4 semanas para inspección general y mantenimiento preventivo, usualmente la operación es continua.

El mantenimiento consiste en:

- inspeccionar todas las bombas y motores, rodamientos y bujes, tanques, recipientes y tubos, renovar recubrimientos protectores en partes expuestas
- reparar fisuras de elementos de acero inoxidable,
- retirar de los tubos incrustación y organismos marinos adheridos, usando boquillas de alta presión,
- retirar y limpiar elementos clave y reemplazarlos si es necesario

3. Exposiciones generales características durante la Construcción

Los proyectos de construcción son operaciones complejas que implican interacciones entre muchas partes diferentes que proveen una amplia variedad de servicios. No hay dos proyectos que sean iguales y, por tanto, es importante analizar los riesgos específicos asociados a cada nuevo proyecto.

Anteriormente en este documento se hace referencia a los diversos tipos de procesos de desalinización y qué retos técnicos pueden presentar estos procesos. Sin embargo, esta sección del trabajo está dirigida a las exposiciones más comunes a las que están sujetos los proyectos. Generalmente, estas exposiciones pueden dividirse en internas y externas. Las internas normalmente están relacionadas al proceso mismo (avería de maquinaria, reacciones químicas, etc.) y ya han sido comentadas previamente, por lo que en esta sección se discutirá las influencias/exposiciones externas.

Las exposiciones externas se pueden dividir generalmente en las siguientes categorías:

3.1 Peligros de la Naturaleza

La ubicación del proyecto indicará si éste está situado en un área con exposición conocida a un riesgo de la naturaleza, sea terremoto, huracán, tsunami, volcanismo o inundación. Por tanto, es importante que la planta esté diseñada considerando esos riesgos y, durante la fase de construcción, utilizar métodos de trabajo para minimizar las pérdidas debidas a estos peligros conocidos. Por ejemplo, en una zona de huracán es una buena práctica reforzar todos los tanques de almacenamiento mientras se construyen, de tal manera que se dé una resistencia integral a su estructura antes de que estos se terminen. En general, las estructuras son mucho más fuertes cuando ya están terminadas que cuando están en construcción.

También es necesario medir cuidadosamente las exposiciones a riesgos de la naturaleza de excavaciones y trincheras abiertas para tuberías y usar métodos de trabajo que mitiguen la exposición. Por ejemplo, en las excavaciones pueden incluir el uso de bombas para mantenerlas secas; para trincheras abiertas estos pueden incluir el limitar la longitud de trincheras abiertas en áreas húmedas o con agua, apilar la tierra sobre el lado más expuesto y sujetar cualquier tramo de tubería expuesta que no hubiera sido recubierta. Una vez que se han

terminado los cimientos y que las obras de concreto han alcanzado el nivel de piso, se reducen de alguna manera las exposiciones a la mayoría de los peligros naturales.

Actualmente, muchas de las plantas desalinizadoras construidas en el mundo están en el Medio Oriente, en donde casi todas las regiones pueden considerarse poco expuestas en lo que se refiere a peligros naturales, aunque debe tenerse cuidado si el proyecto se sitúa cerca de un wadi (lecho de corriente usualmente seco) que puede convertirse en una corriente torrencial después de fuertes lluvias. Sin embargo, ya que el clima mundial cambia, es probable que se necesiten muchas más plantas desalinizadoras en áreas del planeta en las que la exposición a peligros naturales sea mucho más alta.

3.2 Condiciones del Terreno

El diseño de obras civiles necesitará tomar en cuenta el tipo y las condiciones del suelo, la topografía del terreno y las exposiciones a riesgos de la naturaleza. Si se trata de suelos con poca capacidad de carga es probable que se requiera de pilotaje. Ciertos suelos son muy agresivos y puede requerirse de consideraciones especiales respecto al tipo de concreto que se use para los cimientos (esto puede incluir el diseño especializado del posicionamiento de las varillas de refuerzo ya que, si están demasiado cerca de la superficie del concreto, pueden corroerse fuertemente por la interacción con el suelo). Los tubos tendidos sobre el terreno pueden necesitar de un recubrimiento especial para protegerlos de las acciones del suelo y hasta puede requerirse de protección catódica.

Si el sitio no es plano, pueden necesitarse canalizaciones que drenen cualquier inundación de las obras del proyecto. Si el sitio es plano, puede requerirse de canales para conducir las aguas superficiales a un cárcamo para bombearlas desde ahí a un área alejada de las obras. Si el terreno es muy permeable, puede requerirse menor protección contra la lluvia y aguas superficiales, dado que cualquier agua se filtrará rápidamente al suelo.

3.3 Diseño, Materiales, Mano de Obra y la Calidad del Personal Usado.

Cualquiera que sea el proceso usado, es de importancia crucial que el diseño sea adecuado, que se usen los materiales correctos (especialmente a la luz de la naturaleza corrosiva del proceso) y que los contratistas involucrados sean experimentados y estén bien organizados si se desea una conclusión exitosa. El diseño de la planta final también necesita considerar el método de construcción para minimizar los riesgos de la planta durante la fase de construcción.

En la actualidad, el mundo está experimentando una cantidad de construcción sin precedentes debido a los altos precios de los productos primarios, al “boom” económico en China (y otras partes del Lejano Oriente), en India y en el Medio Oriente, que están poniendo mucha presión, tanto en los recursos físicos, como humanos. Así, no es sorprendente que esto presione fuertemente a los Gerentes de Proyecto a controlar los costos y, al mismo tiempo, asegurarse de que el proyecto se esté construyendo de acuerdo con las normas requeridas. Así mismo, los contratistas e ingenieros están sujetos a una inmensa presión para que se aseguren de que se mantenga la calidad mientras que muchos contratistas/ingenieros experimentados ya están comprometidos con otros proyectos alrededor del mundo. Por su lado, las carteras de pedidos

de los grandes fabricantes están llenas, lo que significa que, incluso una pequeña pérdida / defecto / daño, puede causar un retraso significativo a un proyecto.

Cuando sea posible, es mejor tener una filosofía de contratación que involucre un único responsable; es decir, un sólo contratista EPC (de Ingeniería, Procura y Construcción, según sus siglas en inglés), de tal manera que se minimice la cantidad de disputas entre diferentes contratistas. También, aunque es muy difícil en las circunstancias actuales, es mejor tener un contrato a precio fijo para prevenir el incremento significativo de precios. No obstante, con el salto de los precios de los productos primarios y las presiones sobre la fuerza laboral mundialmente, es difícil lograrlo si no se incluye un premio significativo en el precio.

3.4 Levantamiento de Cargas Pesadas

Otra situación que necesita de un análisis cuidadoso es cuando se involucra cargas pesadas. Los proyectos designan el peso mínimo que se considera carga pesada y que necesita de una Ingeniería específica – este mínimo puede estar en el rango de 25 a 100 toneladas. Sin embargo, es más importante la manera en que se concibe el levantamiento de las piezas, se verifican los cálculos y se confirman los procedimientos finales. En la mayoría de los proyectos, el contratista prepara sus cálculos / metodología y, entonces, estos se verifican por el Principal o por un consultor especificado. El levantamiento de cargas pesadas debe efectuarse sólo con clima benigno, con pronósticos climatológicos obtenidos con tiempo suficiente antes de iniciar el levantamiento.

3.5 Obras en agua (Wet works).

Todas las obras marinas / en agua involucradas en el proyecto (especialmente la entrada de agua y las líneas de salida de salmuera) necesitan consideración especial durante su tendido. Puede ser muy caro reparar el daño a esas obras y/o reemplazarlas; así, tanto el método de trabajo como la calidad de los contratistas serán cruciales para la realización exitosa de esta parte de las obras.

3.6 Exposiciones a Responsabilidad Civil

Generalmente, las exposiciones a Responsabilidad Civil de este tipo de proyectos parecerían ser bajas, dado que los riesgos como incendio o explosión son razonablemente limitados.

Los proyectos pueden, sin embargo, involucrar la conformación de grandes tuberías, sea para obtener agua de mar de alimentación, retornar salmuera al mar y/o suministrar agua limpia a los clientes. Por lo tanto, estas exposiciones necesitan ser evaluadas cuidadosamente.

Trinchera abierta – posible Exposición a RC.

Aunque la alimentación a la planta es agua de mar, la planta regresa al mar una salmuera concentrada. La mayor concentración de sal en el mar puede tener un marcado efecto sobre la vida marina en el área de descarga. En todo el mundo se están emitiendo legislaciones ambientales más estrictas que pueden impactar estas actividades.

Si la planta va a construirse en un terreno que hubiera tenido o tenga edificios, es importante entender, primero, quien será el responsable en caso de que la contaminación preexistente empiece a fugarse, sea durante o después de la construcción de la planta y, segundo, intentar confinar cualquier contaminación preexistente si es probable que los trabajos de construcción la liberen.

3.7 Exposiciones Financieras

El proyecto puede ser retrasado por un evento asegurado o no. En ambos casos, el Principal y/o los financiadores pueden perder cantidades significativas de dinero. Adicionalmente, hay exposiciones significativas provenientes, sea de la empresa que provee de energía eléctrica al proceso o de la clientela si se es el proveedor de agua de una empresa de servicio. El Principal utilizaría normalmente una mezcla de indemnizaciones contractuales, seguros y acuerdos de compra obligatoria (take or pay) para minimizar sus exposiciones financieras por el proyecto. También será importante la definición de Fuerza Mayor en los acuerdos de compra obligatoria (take or pay).

3.8 Riesgos Políticos

Muchas plantas desalinizadoras se construyen en países en los que los efectos políticos y/o religiosos no son calculables y conforme el agua potable se convierta en un producto primario más importante, estas plantas pueden tornarse más expuestas a riesgos de tipo político en los

años por venir.

4. Consideraciones sobre la Pérdida Máxima Probable (PML)

Usualmente, las plantas desalinizadoras se construyen en combinación con una planta generadoras de electricidad. En esas plantas, el escenario del PML es determinado por la planta generadora de energía. En este trabajo no analizamos la planta de generación y sugerimos revisar los documentos respectivos de IMIA.

Daño material

El escenario de PML difiere dependiendo de la tecnología usada en los diferentes tipos de plantas desalinizadoras y de si el proyecto está en construcción o en operación comercial.

Las ideas siguientes están relacionadas a las fases de construcción y pruebas. Hoy en día, en las plantas DFEM y DME, las unidades DFEM / DME se envían al sitio de obra por barcaza como una unidad grande y luego se mueven a su posición final. Una caída durante las maniobras de descarga o de movimiento podría causar un daño total debido al alto valor del equipo.

Unidad DME grande (Fuente: Doosan)

Las unidades de proceso de una planta de OI se concentran en el edificio de OI. Hay mucha instrumentación y cableado alrededor y debajo de estas secciones de proceso. Aún si se han instalado varias líneas de producción, las unidades de OI están concentradas. En una planta de OI el incendio es seguramente uno de los principales escenarios de PML. Las membranas son sensibles al calor y se dañan cuando se exponen al fuego.

Característico bastidor de membranas con bombas de alta presión.

Debido a su ubicación característica a la orilla del mar, la exposición a riesgos de la naturaleza también puede determinar el escenario de PML.

Ubicación de la planta

Una vez que la planta ha sido terminada definitivamente y entró en operación comercial, el incendio es el riesgo que define la PML en la mayoría de los casos.

Como se menciona antes, debido a la ubicación típica a lo largo de la línea costera, los riesgos de la naturaleza pueden causar un siniestro por el monto de la PML también durante la operación comercial.

Pérdida Anticipada de Utilidades (ALoP) o Retraso en el Arranque (DSU)

Como ya se mencionó en este trabajo, normalmente, una planta desalinizadora produce agua en varias líneas. Esto le da un alto grado de flexibilidad y, potencialmente, la exposición a DSU puede ser reducida. No obstante, las normas de suscripción podrían impedir al suscriptor que reduzca la suma asegurada de DSU correspondientemente.

La caída de una unidad DFEM podría llevar a un siniestro por daño material hasta por la PML debido a su alto valor. Esto podría ser aún peor porque, a causa de los prolongados tiempos de entrega para reemplazar esos equipos, podría resultar también un siniestro por la PML en la sección de DSU.

Las bombas son otros equipos clave y usualmente hechos a la medida con tiempos de entrega largos.

En el mercado de construcción, actualmente sobrecalentado, los tiempos de entrega se están convirtiendo en uno de los problemas principales, incluso un transformador podría causar un prolongado retraso o interrupción sólo a causa del largo tiempo de entrega para reemplazarlo.

El agua de refrigeración es esencial en las plantas desalinizadoras. Dependiendo de los acuerdos contractuales, la planta de enfriamiento de agua de refrigeración es frecuentemente construida por una empresa local y si no está disponible en la fecha planeada, puede causarse un siniestro potencial en la DSU contingente.

La potencia final de salida considerando el vapor en las líneas de generación en una planta de cogeneración es producida por diversos grupos generadores o por calderas. Esto produce una flexibilidad mayor para optimizar la producción total en caso de descompostura de una línea de producción (potencia, vapor o agua).

5. Ejemplos de Siniestros Típicos

Hasta ahora no se conocían muchos siniestros extraordinarios relacionados con tecnologías o procesos específicos. Así, los siniestros ocurridos durante los períodos de construcción y pruebas de las plantas desalinizadoras siguen los patrones de los siniestros de otras industrias.

Por lo tanto, los siniestros conocidos incluyen el derrumbe de excavaciones, inundaciones y similares. La mayoría de los procesos son probados y de manufactura estándar; sin embargo, se están realizando algunos desarrollos sobre recuperación de calor, minimización de consumo de energía y en la tecnología de membranas, frecuentemente anunciados como “tecnología de punta”. La falla de membranas que no podrían considerarse adecuadas para un uso específico y que pudieron ser cambiadas algunas veces después de una aceptación provisional, forma parte de negociaciones bilaterales entre fabricantes / proveedores y clientes y, hasta hoy, no se reclaman frecuentemente.

Hay más experiencia disponible de la fase operativa (seguros de Daños y de Rotura de Maquinaria, incluyendo algunas veces Pérdidas Consecuenciales). Varios de estos siniestros pueden ocurrir también durante las pruebas y la puesta en marcha, siendo, por lo tanto, una valiosa fuente de información también para el suscriptor de Construcción.

5.1 Error de apreciación durante una prueba de fuga en una planta de desalinización (evaporador)

\$ 3'70 Millones de Riyal Saudíes (aprox. USD 1'0 Mio) fue la pérdida sufrida por el operador de una planta desalinizadora en Arabia Saudita en enero de 2002, durante una prueba de fuga en un evaporador.

La planta desalinizadora

Desde 1994, se construyeron en el Mar Rojo diez evaporadores del mismo diseño, cada uno con capacidad de producción de 45,000 ton de agua dulce al día, para producir agua potable y agua de proceso para una planta generadora cercana. Cada unidad mide 70 x 30 x 17 m y está soportada por una estructura de acero. Una caldera prefabricada construida en Corea para este equipo se entregó en dos secciones. Se acoplaron estas dos secciones y posteriormente se conectaron a la estructura de soporte en el sitio de la obra en Arabia Saudita. El peso total de la caldera vacía era de casi 3,800 ton. La carcasa exterior de la caldera era de placa de acero no aleado. El interior estaba forrado con placas de acero inoxidable para protegerla contra la corrosión. El acero inoxidable también se usó para todas las piezas del equipo en contacto con la agresiva agua de mar. La caldera se divide en 21 unidades. El agua de mar caliente fluía a una temperatura de 105.5°C en la etapa 1, donde hay una presión de trabajo de 1.22 bar. La evaporación en la unidad 21 toma lugar a 38.5°C y a una presión de trabajo de sólo 0.07 bar.

Vista de la planta

Circunstancias del siniestro

El día del siniestro se estuvo realizando pruebas de fuga (hidrostáticas) en los evaporadores. Mientras se estaba llenando la unidad 19 de desalinización al nivel del precondensador, el personal de operación fue sorprendido por fuertes ruidos. Inmediatamente detuvieron el proceso de llenado y empezaron a buscar la fuente de los ruidos. Inspeccionaron el lado inferior de las unidades del evaporador y encontraron que, tanto la caldera como el marco de soporte de la unidad del evaporador, estaban gravemente deformados en las áreas de las unidades 10 a 21.

Causa del siniestro

Una prueba de fuga incluye el llenar con agua una unidad de desalinización al nivel del precondensador, usando los tubos de succión. Así puede identificarse las fugas en las bridas y

en otras conexiones (pruebas a presión). El siguiente paso es una prueba al vacío que mide la estabilidad del vacío durante un tiempo prolongado. Primero, la unidad desalinizadora se sujeta a vacío y, posteriormente, se aísla cerrando la válvulas. Entonces se observa el vacío: si decrece con el transcurso del tiempo significa que está entrando aire a la unidad de desalinización a través de fallas, p. ej., en las uniones bridadas. Estas fallas deben ubicarse y sellarse. Cuando todas han sido selladas y se observa que sólo hay una ligera caída del vacío en un período de tiempo prolongado, la unidad desalinizadora puede ser puesta en operación.

Si una unidad desalinizadora tiene que llenarse con agua, debe abrirse todos los tubos de vapor que van desde el lado superior de las etapas del evaporador a los condensadores; entonces, el aire desplazado por el agua entrante puede escapar a los alrededores y no queda atrapado en los tubos de succión.

Antes de que el técnico abriera la válvula de ventilación para el llenado final de la columna de destilación, verificó visualmente si las válvulas estaban abiertas de acuerdo con las normas. Sin embargo, sólo había abierto la válvula del precondensador y al 10% la válvula de ventilación motorizada porque supuso que esto reduciría la cantidad de agua escapándose en cuanto la unidad de desalinización estuviera totalmente llena. Entonces, el aire desplazado durante el llenado no pudo escapar con suficiente rapidez. Finalmente, se acumuló una presión substancial dentro de la unidad desalinizadora y ésta, junto con la presión del agua que se había bombeado, fue demasiada para el lado inferior de la caldera y para la estructura de soporte. El equipo del evaporador (cámaras, estructura portante, etc.) fue dañado por la presión. En una investigación posterior se encontró que la presión había aumentado a 3.5 bar durante el llenado, muy por encima de la presión de diseño de 1.5 bar.

El siniestro

El marco de acero que aseguraba la caldera tenía daños a lo largo de la mitad de su longitud. La mayoría del equipo en la caldera debía de reemplazarse. Dentro de la caldera hay 180 columnas de soporte entre el piso y la tapa. Se encontró pequeñas fisuras en la base de 56 columnas en 15 de las 21 unidades. Hubo fisuras mayores, de hasta 570 mm de ancho, en 37 columnas. Aquí fue también donde ocurrieron las deformaciones más severas de la caldera. Los cordones de soldadura fueron severamente dañados y la estructura de soporte fue deformada y expandida. A pesar del severo daño, la unidad desalinizadora permaneció en su lugar y fue posible realizar todos los trabajos de reparación en el lugar de operación.

Conclusión

Una simple válvula de presión en el lado superior de la caldera pudo haber prevenido este siniestro – que fue el resultado de un juicio humano erróneo- por una suposición errónea.

Con el amable permiso de Münchener Rück (Schadenspiegel 2-2003)

Deformación de Viguetas I y soldaduras fracturadas

Igual que la anterior

Deformación de mampara de separación y cordones fracturados

Deformación de soportes, evidencia del desprendimiento del recubrimiento de protección

Igual a la anterior.

5.2 Rotura de Maquinaria en una planta desalinizadora de OI debido a la entrada de partículas pequeñas

El diseño de una planta de OI en Europa del Sur se basó en los avances más recientes, entre ellos, la recuperación de energía y la mezcla de la salmuera resultante con agua residual de una planta termoeléctrica vecina con el fin de reducir el impacto ambiental. La planta produce aprox. 120,000 m³/día de agua dulce. El agua se filtra mediante filtros de arena y de finos, que retienen las partículas mayores a 20 micrómetros, se le da un pretratamiento y después se bombea con 12 turbobombas, cada una con capacidad de más de 900 m³/h a través de más de 12'000 membranas en 12 marcos.

Las turbobombas estaban operando a 3,000 RPM, produciendo una presión de 100 bar.

Durante un proceso de mantenimiento de rutina se desconectaron las líneas individuales, se les dio mantenimiento y se volvieron a conectar. Después de purgar el aire, rellenar y restablecer una línea individual de acuerdo con los manuales, el personal de operación notó un sobrecalentamiento anormal en la turbobomba correspondiente, inició la verificación del sistema

y rápidamente notó el bloqueo total del impulsor. Se tuvo que detener la línea de producción y se abrió la bomba.

Impulsor e interior de la turbobomba después de abierta la carcasa

Fijo, unido a la carcasa

Móvil, unido al impulsor

El impulsor fue desplazado, había muescas y surcos indicando que habían entrado a la bomba objetos extraños, arena con mayor probabilidad. Como este daño le ocurrió sólo a esta bomba individual, se pudo descartar una falla de los filtros de arena y de finos y se concluyó que algunas partículas de arena habían estado ocultas en el sistema, habiendo entrado ahí probablemente en el pasado y ahora se habían introducido a la bomba como consecuencia del restablecimiento y la correspondiente turbulencia.

Como medida preventiva y con el fin de evitar que ocurrieran eventos similares el sistema completo fue enjuagado y se limpió de nuevo. No ocurrieron daños similares después de esto. Se transportó la bomba a las instalaciones del fabricante, se analizó y reparó usando repuestos ya disponibles en la planta de OI.

No estaban amparadas las Pérdidas Consecuenciales.

La pérdida completa se estimó en aprox. € 130,000.

Conclusiones: A pesar de una correcta operación de los sistemas de filtración, se pueden introducir objetos extraños al sistema durante la construcción o durante el retiro temporal de algunos elementos.

Por tanto, los siniestros de este tipo también pueden ocurrir en el período de mantenimiento, después de la construcción.

5. 3. Pérdida de aceite de un transformador

En una planta desalinizadora junto al Mediterráneo, se interrumpió súbitamente la alimentación eléctrica, lo que llevó a un paro de las bombas de alta presión. Revisando el transformador de 3,150 KVA formando parte de la planta, se detectó que los aisladores de cerámica mostraban grietas cerca de las abrazaderas en la entrada de alta tensión. El aceite debió haberse escapado a través de estas grietas, causando un corto circuito. La fuga de aceite podía observarse incluso fuera del cuarto del transformador.

Como el transformador operaba en un cuarto semi-abierto y su temperatura máxima había sido de sólo 45°C, no había ocurrido sobrecalentamiento y ya que no se había registrado tormentas con fenómenos electromagnéticos como rayos en las semanas previas, se excluyó la posibilidad de daño súbito causado por sobretensión por descargas eléctricas. Finalmente se concluyó que los cambios repentinos en el suministro de energía eléctrica –que aparentemente ocurren repetidamente en esta área– deben haber causado picos de tensión y que los aisladores se agrietaran.

Fuga de aceite fuera del cuarto del transformador

Transformador

Aisladores de cerámica agrietados

El propietario tuvo que rentar de inmediato un transformador de 2,500 KVA y reinició la operación dentro de 48 horas después del evento. Como el fabricante no pudo iniciar de inmediato los trabajos de reparación debido a que era temporada de vacaciones, se compró el transformador rentado. Más aún y con el fin de controlar las fluctuaciones adicionales en el suministro de energía eléctrica, se compró e instaló un regulador adecuado.

Como la decisión de compra del transformador fue rápida, los costos de renta fueron bajos y la Pérdida Consecuencial quedó por abajo del deducible. Los trabajos de reparación se indemnizaron después de aplicar el deducible y no fueron muy altos.

Conclusiones: Este tipo de siniestro también puede ocurrir durante las pruebas, especialmente en regiones donde el suministro eléctrico tiene muchas fluctuaciones.

La minimización de pérdidas es posible cuando pueda rentarse equipo rápidamente, los trabajos de reparación puedan requerir un tiempo mucho más largo, especialmente en países en donde se necesita embarcar los equipos dañados al país del proveedor / fabricante o cuando las vacaciones de verano puedan llevar al siniestro a problemas.

Gracias a

Münchener Rück por la información sobre el siniestro 5.1

Mapfre Seguros por la información sobre los siniestros 5.2 y 5.3

Grupo Cobra por las fotografías de plantas de OI