

# **Mejoras en la Confiabilidad de las Unidades de Generación de Químicos (Hipoclorito y Dióxido de Azufre) de la Planta de Tratamiento de Agua de Mar Qurayyah Mediante la Instalación de Válvulas No Metálicas para Servicios de Baja Presión**

Leonardo Mir

Mubarraz Complex, Core Area, South Admin. Bldg., Ofic. S128

## **Resumen**

Mediante la instalación de válvulas fabricadas con materiales no metálicos en el año 2017, se ha logrado una reducción significativa de la tasa de fallas (cero fallas), mostrada por sus pares metálicas, previamente empleadas en las unidades de generación de químicos (hipoclorito de sodio y dióxido de azufre), esenciales para el proceso de tratamiento de agua de mar de la Planta Saudi Aramco Qurayyah, ubicada en el Reino de Arabia Saudí.

Producto de una investigación integral que incluyó análisis de fallas, análisis de causa raíz, condiciones de proceso, compatibilidad química, evaluación metalúrgica, propiedades mecánicas, así como la evaluación de los materiales disponibles en el mercado, se realizó la selección de la mejor combinación de materiales no metálicos y metálicos con revestimientos optimizados para cada fluido.

## **Antecedentes**

La inyección de químicos es parte esencial del sistema de tratamiento de agua de mar para inyección a pozos, siendo pilar fundamental en la prevención del crecimiento de bacterias y la corrosión causada por elementos microbiológicos, así como, actor principal en la eliminación del oxígeno en las corrientes de agua (proceso de de-aeración), todos ellos factores nocivos para la integridad de los equipos de proceso, la red de tuberías y los componentes instalados en los pozos de inyección.

El tiempo de parada de los diferentes equipos de inyección de químicos, debido a fallas

recurrentes de válvulas, produjo reducciones inaceptables en las cantidades inyectadas al sistema de tratamiento.

Las Unidades de Generación de Hipoclorito (TR-1 y TR-2, norte y sur respectivamente) presentaban una tasa promedio de veintiséis (26) por año, mientras que la Unidad de Generación de Dióxido de Azufre y su red de distribución, mostraba una tasa promedio de ocho (8) anuales, produciendo costos directos excesivos por concepto de reemplazo y/o mantenimiento. Así mismo, los costos indirectos por mantenimiento de equipos y tuberías aguas abajo del sistema de tratamiento, impactaban negativamente la gestión de los activos del Departamento de Inyección de Agua.

## **Análisis de Fallas**

### **Unidades de Generación de Hipoclorito**

Equipadas con válvulas de diafragma y bola para fines de aislamiento, válvulas de retención de tipo oscilante, y válvulas de control tipo globo para efectos de control.

Se llevó a cabo un análisis de falla para cada tipo de válvula, en función de sus particularidades, materiales y mecanismos de falla, con el objetivo de determinar la causa raíz junto con sus factores contributivos.

**Fluido de servicio:** Solución de hipoclorito de Sodio a 1200 ppm

### **Condiciones de Diseño:**

- Presión Máxima de Trabajo = 150 psig.
- Temperatura máxima de servicio = 65°C
- Temperatura de servicio mínima = 5°C

### Condiciones de Operación:

- Presión = 120 psig.
- Temperatura = 20 to 25°C

### Descripción de las fallas:

1. Válvulas de diafragma: Fabricadas en hierro fundido revestido internamente con EPDM<sup>(1)</sup>. **Falla:** Fugas a través del cuerpo (perforación - “*pinhole leak*”), zona del asiento (ver Figura 1).



Fig 1

2. Válvulas de retención: Fabricadas en acero inoxidable austenítico fundido ASTM<sup>(2)</sup> A351 grado CF8M. **Falla:** Fugas a través del cuerpo (perforación - “*pinhole leak*”), en conjunto con falla funcional del mecanismo interno (ver Figura 2).



Fig 2

3. Válvulas de bola: Fabricadas en aleación de níquel, tipo fundición ASTM<sup>(2)</sup> A494 grado CW12MW. **Falla:** Fugas a través de

las bridas de conexión del cuerpo (diseño de cuerpo en dos piezas) (ver Figura 3).



Fig 3

4. Válvulas de control (tipo globo): Fabricado con aleación de níquel, tipo ASTM<sup>(2)</sup> A494 grado CW12MW. **Falla:** Fugas a través del cuerpo (perforación - “*pinhole leak*”) (ver Figura 4).



Fig 4

### Análisis de Causa Raíz

1. Válvulas de diafragma:

Se identificaron dos factores causales que contribuyeron a la falla (a) y (b), junto a las causas potenciales asociadas:

- a. Daños sobre el revestimiento interno EPDM<sup>(3)</sup> (degradación)

Causas potenciales:

- Ataque químico del fluido de servicio sobre el revestimiento interno EPDM<sup>(3)</sup> (*contribuyente principal*)
- Incremento de la temperatura de operación por encima de los 20°C, durante el verano

<sup>(1)</sup> Etileno-Propileno-Dieno-Monomero

<sup>(2)</sup> ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700

<sup>(3)</sup> Etileno-Propileno-Dieno-Monomero

en el Reino de Arabia Saudí (alcanza los 50°C) (*contribuyente secundario*).

- Aplastamiento del revestimiento interno EPDM<sup>(4)</sup> debido a los ciclos de compresión (apertura y cierre) en el asiento, causando fatiga del recubrimiento (*contribuyente secundario*)

#### b. Corrosión en el cuerpo

Causa potencial:

- Ataque químico del fluido de servicio sobre el hierro fundido desnudo (*contribuyente principal*)

La causa raíz se identificó como: “**Ataque químico sobre el revestimiento de Etileno – Propileno – Dieno - Monomero (EPDM)**”. La figura 5 muestra el detalle del revestimiento degradado.



Fig 5

#### 2. Válvulas de retención

Se identificó un factor causal (a), junto a sus causas potenciales asociadas:

- a. Corrosión en el cuerpo y los componentes internos

Causas potenciales:

- Ataque químico sobre acero inoxidable austenítico fundido tipo ASTM<sup>(5)</sup> A351 grado CF8M (*contribuyente principal*)
- Incremento de la temperatura de operación por encima de los 20°C durante el verano

<sup>(4)</sup> Etileno-Propileno-Dieno-Monomero

<sup>(5)</sup> ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700

en el Reino de Arabia Saudí (alrededor de 50°C) (*contribuyente secundario*).

La causa raíz se identificó como: “**Ataque químico sobre acero inoxidable tipo ASTM<sup>(5)</sup> grado A351 CF8M**”.

#### 3. Válvulas de bola

Se identificó un factor causal (a), junto a sus causas potenciales asociadas:

- a. Corrosión en las bridas de conexión del cuerpo (diseño de cuerpo en dos piezas)

Causas potenciales:

- Fluido de servicio atrapado (estancado) en la brida de conexión del cuerpo produciendo corrosión por rendija (*contribuyente principal*)
- Incremento de la temperatura de operación por encima de los 20°C durante el verano en el Reino de Arabia Saudí (alcanza los 50°C) (*contribuyente secundario*). Existe un antecedente similar, relacionado con ataque químico e incremento de temperatura sobre aleaciones de níquel en la región durante el verano [1]. Por otra parte, la llamada “*regla de los 10 grados*”, establece que un aumento de 10°C en la temperatura del fluido, incrementa la tasa de corrosión, en factor de dos o más [2].

Causa raíz: “**Fluido de servicio atrapado (estancado) en la brida de conexión del cuerpo, produce corrosión por rendija**”. La figura 6 muestra el detalle de la falla.



Fig 6

#### 4. Válvulas de control (tipo globo):

Se identificó un factor causal (a), junto a sus causas potenciales asociadas:

##### a. Corrosión en el cuerpo

Causas potenciales:

- Ataque químico sobre aleación de níquel, tipo fundición ASTM<sup>(6)</sup> A494 grado CW12MW (*contribuyente principal*).
- Incremento de la temperatura de operación muy por encima de los 20°C durante el verano en el Reino de Arabia Saudí (alcanza 50°C) (*contribuyente secundario*). Ver explicación referente a las fallas válvulas de bola, con respecto al incremento de temperatura ambiental y su relación con la falla en aleaciones de níquel.

Causa raíz: “*Ataque químico sobre la aleación de níquel tipo ASTM<sup>(6)</sup> A494 grado CW12MW*”. La figura 7 muestra la falla en el cuerpo de la válvula.



Fig 7

#### Unidad de Generación de Dióxido de Azufre

El análisis de fallas se concentró en las válvulas de aislamiento (tipo compuerta), fuente de las fallas recurrentes.

Fluido de servicio: Solución de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub> 5-10% + Agua de mar 90-95%)

Condiciones de Diseño:

- Presión Máxima de Trabajo = 150 psig.
- Temperatura máxima de servicio = 65°C
- Temperatura de servicio mínima = 5°C

#### Condiciones de Operación:

- Presión = 120 psig.
- Temperatura = 20 to 25°C

#### Descripción de las fallas:

1. Válvulas de compuerta: Fabricadas con aleación de níquel, tipo ASTM<sup>(6)</sup> A494 grado CW12MW. **Falla:** Válvula incapaz de aislar el servicio (falla funcional) (ver Figura 8).



Fig 8

#### Análisis de Causa Raíz

Se identificó un factor causal (a), junto a la causa potencial asociada:

- a. El disco de la válvula no llega al final de su recorrido, evitando el posicionamiento adecuado sobre los asientos.

Causa potencial:

- Acumulación de materiales solidificados en el mecanismo de accionamiento de las válvulas y en el fondo de la cavidad de la misma. (*contribuyente principal*)

La causa raíz se identifica como: “*Acumulación de materiales solidificados en el mecanismo de accionamiento de las válvulas y en el fondo de la cavidad de la misma*”. La figura 9 muestra el detalle del material acumulado en la cavidad de la válvula.

<sup>(6)</sup> ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700





Fig 9

### Selección de Materiales

Proceso de selección de materiales:

1. Resistencia química a los fluidos de servicio
2. Verificación de las condiciones de proceso (temperatura y presión) con las propiedades de los materiales propuestos
3. Verificación dimensional de las tuberías y válvulas (posición de las válvulas, dimensión cara a cara, etc.)

#### Unidades de Generación de Hipoclorito

1. Alternativas evaluadas para el Reemplazo de válvulas de diafragma (hasta 6" diámetro):
  - CPVC<sup>(7)</sup> Tipo IV, ASTM<sup>(8)</sup> D-1784 (Clasificación 23447)
  - Hierro dúctil revestido con ETFE<sup>(9)</sup> o PFA<sup>(10)</sup>
2. Alternativas evaluadas para el reemplazo de las válvulas de diafragma (tamaños superiores a 8" de diámetro):
  - Hierro dúctil revestido con ETFE<sup>(9)</sup> o PFA<sup>(10)</sup>
  - Válvulas tipo mariposa, fabricadas con resina vinil éster reforzada con fibra de vidrio (material compuesto)<sup>(11)</sup>, revestidas con PTFE<sup>(12)</sup>

<sup>(7)</sup> Policloruro de Vinilo Clorado

<sup>(8)</sup> ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700

<sup>(9)</sup> Etileno-Tetrafluoretileno

<sup>(10)</sup> Per-Fluoroalcoxi-Alcanos

<sup>(11)</sup> Unión de dos o más materiales para conseguir la combinación de propiedades que no es posible obtener en los materiales originales

<sup>(12)</sup> Poli-Tetra-Fluoro-Etileno.

3. Alternativas evaluadas para el reemplazo de válvulas de retención:

- CPVC<sup>(7)</sup> Tipo IV - ASTM<sup>(8)</sup> D-1784 (Clasificación de células 23447)
- Tipo oblea, resina de polisulfona<sup>(13)</sup> reforzada con fibra de vidrio
- Tipo oblea, hierro fundido revestido de ETFE<sup>(9)</sup> o PFA<sup>(10)</sup>

4. Alternativas evaluadas para el reemplazo de válvulas de bola:

- CPVC<sup>(7)</sup> Tipo IV - ASTM<sup>(8)</sup> D-1784 (Clasificación de células 23447)
- Hierro dúctil revestido con ETFE<sup>(9)</sup> o PFA<sup>(10)</sup>
- Resina de polisulfona<sup>(13)</sup> reforzada con fibra de vidrio de vidrio

5. Alternativas evaluadas para el reemplazo de válvulas de control (tipo globo):

- Aleación de titanio (cuerpo y componentes internos)
- Hierro dúctil revestido en PFA<sup>(14)</sup>

#### Unidades de Generación Dióxido de Azufre

1. Alternativas evaluadas para reemplazo:
  - Válvulas de bola fabricadas con aleación de níquel forjadas
  - Resina de Éster vinílico<sup>(15)</sup> reforzado con grafito (material compuesto)<sup>(11)</sup>

### Discusión de Resultados

#### Unidades de Generación de Hipoclorito

1. Reemplazo de válvulas de diafragma (hasta 6" diámetro nominal):
  - a. El CPVC<sup>(7)</sup> es químicamente compatible, sin embargo, no lo es para las condiciones de proceso. La presión máxima de trabajo para el material propuesto (a la

<sup>(13)</sup> Las polisulfonas son familia de los polímeros termoplásticos [4], resistentes al hipoclorito de sodio

<sup>(14)</sup> Per-Fluoroalcoxi-Alcanos

<sup>(15)</sup> Comprenden una base de resina de poliéster reforzada con moléculas epoxi en el esqueleto de la cadena molecular

temperatura de diseño) solo alcanza la mitad de la presión de diseño [5].

- b. **Fabricadas en hierro dúctil, revestidas con ETFE<sup>(16)</sup> o PFA<sup>(17)</sup> [6], brindan la resistencia química y mecánica requerida, además de no ser necesarias las modificaciones en tuberías.** La figura 10 muestra el detalle interno de las válvulas de diafragma con recubrimientos mejorados.

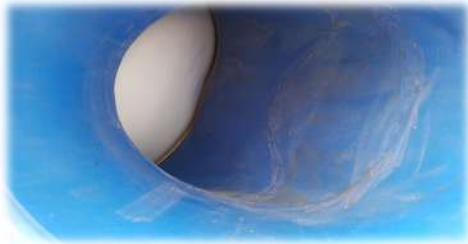


Fig 10

2. Reemplazo de válvulas de diafragma (tamaños superiores a 8" de diámetro):
- a. A pesar del hecho de que las válvulas de diafragma de hierro dúctil revestidas con materiales químicamente compatibles (ETFE<sup>(16)</sup> y PFA<sup>(17)</sup>), son una excelente opción para el servicio [6], para el caso de tamaños superiores a seis pulgadas, su peso impone cargas no deseadas sobre el sistema de tuberías, que requieren soportes extra.
- b. **Alternativamente, las válvulas mariposa fabricadas con materiales compuestos revestidas de PTFE<sup>(18)</sup> representan una mejor opción, ya que ofrecen la resistencia química necesaria, además de ser muy ligeras y de bajo coste en comparación con las válvulas de diafragma. Únicamente, se requiere la fabricación de carretes de tubería bridados para compensar la diferencia entre las dimensiones de las caras de las**

<sup>(16)</sup> Etileno-Tetrafluoretileno

<sup>(17)</sup> Per-Fluoroalcoxi-Alcanos

<sup>(18)</sup> Poli-Tetra-Fluoro-Etileno.

**válvulas de mariposa [7], [8].** La figura 11 muestra las válvulas propuestas.



Fig 11

3. Reemplazo de válvulas de retención:
- a. Como se explicó para las válvulas de diafragma, la opción del CPVC<sup>(19)</sup>, no es apta para las condiciones del proceso [5].
- b. Tipo oblea, fabricadas en hierro dúctil, revestidas con ETFE<sup>(16)</sup> o PFA<sup>(17)</sup>, son alternativas adecuadas [10] [11]. Sin embargo, más pesadas que sus pares no metálicas y propensas a la corrosión externa.
- c. **Tipo oblea, fabricadas con resina de polisulfona<sup>(20)</sup> reforzada con fibra de vidrio, son aptas para las condiciones del proceso y ofrecen una excelente resistencia química (no requieren revestimiento), además de ser ligeras, siendo la mejor opción para el servicio [9] (ver figura 12).**



Fig 12

<sup>(19)</sup> Policloruro de Vinilo Clorado

<sup>(20)</sup> Las polisulfonas son familia de los polímeros termoplásticos [4], resistentes al hipoclorito de sodio

4. Reemplazo de válvulas de bola:
  - a. Como se explicó anteriormente, la opción del CPVC<sup>(21)</sup>, no es apta para las condiciones del proceso [5].
  - b. Fabricadas en hierro dúctil, revestidas con ETFE<sup>(22)</sup> y PFA<sup>(23)</sup>, son alternativas adecuadas [10] [11]. Sin embargo, más pesadas que sus pares no metálicas y propensas a la corrosión externa.
  - c. **Fabricadas con resina de polisulfona<sup>(24)</sup> reforzada con fibra de vidrio, son la mejor opción para el servicio y de más bajo coste [7] [12] (ver figura 13).**



Fig 13

5. Reemplazo de válvulas de control:
  - a. Fabricadas completamente en aleación de titanio, ofrecen una excelente resistencia a la corrosión, sin embargo, poseen alto costo y largo tiempo de entrega.
  - b. **Cuerpo fabricado en hierro dúctil, revestido en PFA<sup>(23)</sup>, ofrecen excelente resistencia a la corrosión [15], siendo la opción más económica para el sistema de control.** La figura 14 muestra una de las válvulas de control instalada en la Unidad de Generación de Hipoclorito.



Fig 14

### Unidades de Generación Dióxido de Azufre

1. Reemplazo de válvulas de compuerta:
  - a. Válvulas de bola, de aleación de níquel forjado, son compatibles químicamente y aptas para las condiciones de proceso. Sin embargo, más pesadas que sus pares no metálicas y más costosas.
  - b. **Válvulas de bola, hechas con resina de éster vinílico<sup>(25)</sup> reforzado con grafito, ofrecen excelente resistencia química [7], además de ser ligeras, siendo la opción seleccionada para el servicio [14] (ver figura 15).**



Fig 15

### Conclusiones

1. Las válvulas fabricadas con materiales no metálicos, son aptas para el manejo de químicos como el Hipoclorito de Sodio y el Dióxido de Azufre, demostrando ser confiables para eliminar la corrosión en

<sup>(21)</sup> Policloruro de Vinilo Clorado

<sup>(22)</sup> Etileno-Tetrafluoretileno

<sup>(23)</sup> Per-Fluoroalcoxi-Alcanos

<sup>(24)</sup> Las polisulfonas son familia de los polímeros termoplásticos [4], resistentes al hipoclorito de sodio

<sup>(25)</sup> Comprenden una base de resina de poliéster reforzada con moléculas epoxi en el esqueleto de la cadena molecular

- aplicaciones de baja presión (máximo 150 psig), habiendo mostrado una reducción notable de la tasa de fallas ("*cero fallas*") durante el primer año de prueba.
2. Ahorro de costes directos en el rango de US \$ 120,000.00, durante 2017.
  3. El acero inoxidable austenítico, tipo fundición ASTM<sup>(26)</sup> A351 grado CF8M, muestra alta tasa de fallas en el servicio de hipoclorito de sodio.
  4. A pesar del hecho de que las aleaciones de níquel (particularmente el tipo fundición ASTM<sup>(26)</sup> A494 grado CW12MW) se han reportado como compatibles para el servicio de hipoclorito de sodio [13], toda la población de válvulas fabricadas con dicho material, abordadas por esta investigación, mostraron fallas por corrosión recurrentes.
  5. El empleo de válvulas de compuerta en servicios químicos donde se espera la formación sólidos, no es recomendada debido a las particularidades del diseño de las mismas: Cavidades internas que sirven para la acumulación de materiales sólidos.

### **Agradecimientos**

Especial agradecimiento al personal del Departamento de Inyección de Agua de Mar de Saudi Aramco, por su apoyo continuo a las mejoras en la confiabilidad.

### **Bibliografía**

- [1] H.M. Shalaby, "Failure of Hastelloy C-276 pump impeller in hydrochloric acid", Engineering Failure Analysis Vol. 15, pp. 543–546, 2008.
- [2] ASM Metals Handbook Volume 11 - Failure Analysis and Prevention. Ohio. ASM International, 2002, pp. 1614.

- [3] ASM Metals Handbook Volume 21-Composites. Ohio. ASM International, 2002, pp.39
- [4] J.A. Brydson, Plastics Materials. Oxford. Butterworth Heinemann, 1999, pp. 596-602
- [5] Super Sourcebook. California. Spears, pp. 1451-1459
- [6] Chemical Guide. Milwaukee. Hills-McCanna, 2008, pp. 21
- [7] Chemical Resistance Guide. Milwaukee. Nil-Cor, 2008, pp. 12.
- [8] Technical Specifications for Series 710 PTFE-Lined Full-Face Wafer/Lug Butterfly Valves. Milwaukee. Nil-Cor, 2008, pp. 1-2.
- [9] Technical Specifications for Wafer Swing Check Valves Sizes 2”– 16” Series 310 Fiberglass Reinforced Vinyl Ester. Milwaukee. Nil-Cor, 2008, pp. 1-2.
- [10] Atomac Lined Swing Check Valves. Germany. Flowserve, 2013, pp. 1-4
- [11] Atomac & Durco Fully Lined Process Valves and Accessories. Germany. Flowserve, 2011, pp. 36
- [12] Technical Specifications for Flanged Ball Valves Sizes 1”- 4” Series 410 Fiberglass Reinforced polysulfone for use in Sodium Hypochlorite Systems. Milwaukee. Nil-Cor, 2008, pp. 1-2
- [13] Corrosion Resistance of Hastelloy® Alloys. Indianapolis. Haynes, 1984, pp. 48-49.
- [14] Technical Specifications for Flanged Ball Valves Sizes 1”- 10” Series 300 Graphite Reinforced Vinyl Ester. Milwaukee. Nil-Cor, 2008, pp. 1-2
- [15] Kämmer Lined Flow 132000, Corrosive Application Valves. Germany. Flowserve, 2011, pp. 1-8.

---

<sup>(26)</sup> ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700,



Leonardo Mir cuenta con 15 años de experiencia en el campo de válvulas y tuberías, en los sectores de petróleo, gas y petroquímica. Ingresó a Saudi Aramco en el año 2013, para apoyar en la gestión de integridad de válvulas, mediante el desarrollo de un programa de mantenimiento integral para la mejora de la confiabilidad de los activos, aumentando significativamente el tiempo medio entre fallas, generando ahorros de costos por el orden de 4MM USD desde su implementación. Es un profesional certificado en mantenimiento y confiabilidad (CMRP), titulado en Ingeniería Mecánica por la Universidad Central de Venezuela y posee una Maestría en Ingeniería Mecánica de la universidad de Carabobo.

1. Autor: Leonardo Mir
2. Teléfono: +966-(0)508556473
3. Dirección: Mubarratz Complex
4. Oficina 128
5. Email:  
[leonardo.castarlenasmir@aramco.com](mailto:leonardo.castarlenasmir@aramco.com)
6. Al-Hasa
7. Reino de Arabia Saudí