


PETROTECNIA

Revista del Instituto Argentino del Petróleo y del Gas | ISSN 0031-6598 - AÑO LXIV - 1 | 2024

EOR. Recuperación mejorada de petróleo

Media sponsor de:



3° Workshop de Medición en Upstream y Downstream de Petróleo y Gas 



5° Congreso de Integridad y Corrosión en la Industria del Petróleo y del Gas 

J(R)ED³
JORNADAS REVOLUCIÓN DIGITAL PARA PETRÓLEO Y GAS





Adecuación de *facilities* en plantas de tratamiento de agua para recuperación terciaria

Por *Marina Herrero Segura* y *Carlos Fabián Morandini* (YPF)



El presente trabajo describe los procesos evolutivos y la adecuación de instalaciones que hicieron posible la migración de la instalación de inyección de agua Desfiladero Bayo Mendoza, a una planta de tratamiento que cumple con los parámetros de calidad.

La Planta de Tratamiento de Agua de Desfiladero Bayo Mendoza (DBM) tiene como objeto cumplir los parámetros de calidad de agua de inyección para recuperación secundaria y terciaria requeridos por Ingeniería de Reservorios.

En el presente trabajo se describirán los procesos evolutivos y la adecuación de instalaciones que hicieron posible la migración de una instalación de inyección de agua a una planta de tratamiento que cumple con los parámetros de calidad.

Para llevar a cabo el objetivo, se planteó una estrategia de tres etapas, las cuales se describen a continuación:

- 1) Adecuación de las instalaciones de superficie, optimizando los equipos existentes e incorporando una nueva tecnología de filtrado y pulido.
- 2) Incorporación de un proceso de tratamiento de efluentes para eliminar del sistema los sólidos y el residual de polímero.
- 3) Definición de un plan específico de tratamiento químico:
 - Agua de inyección: en el cual se analizó la compatibilidad de los productos en función del polímero utilizado en la solución madre.
 - Agua a ser tratada: el cual consiste en la degradación del residual de polímero para evitar la deposición del mismo en el sistema.

Como conclusión, se observa que las medidas adoptadas permiten alcanzar la calidad de agua objetivo y que las adecuaciones en el tratamiento químico mejoran notablemente la performance de las instalaciones evitando el fouling en el sistema a causa de residual de polímero.

Introducción

Inicialmente en la zona sólo se realizaba inyección de agua dulce para producción secundaria de petróleo.

Luego de los estudios realizados por la Gerencia de Reservorios, en los cuales se estudian las causas de baja inyectividad, se decide iniciar las acciones necesarias para migrar de inyección secundaria con agua dulce a inyección con agua de producción.

En el presente trabajo se detalla cómo han ido evolucionando las instalaciones hacia una Planta de tratamiento de agua para inyección de agua de producción y tratamiento de la misma para recuperación terciaria con polímero.

Adicionalmente, se formula un plan de tratamiento químico específico para el agua de inyección. Como resultado se obtienen los valores objetivos fijados en calidad de agua de inyección para recuperación secundaria y terciaria.

Parámetros	Desfiladero Bayo			Chachahuén
	DBE	DB Troncoso	DB Rayoso	DBE Rayoso
Sólidos totales TSS [ppm]	10	5	20	7
Hidrocarburos HC [ppm]	<20	<25	<25 a 30	<15
BSR [caldos]	<3	<3	<3	<3
Oxígeno [ppb]	<20	<20	<20	<60
Remover partículas de sólidos [micrones]	>7	>10	>35	>5
Diámetro gargantas porales [micrones]	22	-	40	-
Salinidad [g/l de NaCl]	-	-	-	>10
Presión de boca de pozo [kg/cm ²]	-	-	-	100

Tabla 1. Ensayos de testigos de corona en las distintas formaciones.

Características del proyecto

El agua tratada en la PIA DB MZA tiene como destino distintas formaciones, por lo que para definir la calidad de agua objetivo se realizaron ensayos de testigos de corona en las mismas y se tomaron los parámetros más restrictivos en cada caso.

De esta forma, los parámetros adoptados son los siguientes:

Parámetros	valor objetivo
Sólidos totales TSS [ppm]	5
Hidrocarburos HC [ppm]	<15
BSR [caldos]	<3
Oxígeno [ppb]	<20
Remover partículas de sólidos [micrones]	>5
Salinidad [g/l de NaCl]	>10
Presión de boca de pozo [kg/cm ²]	100

Tabla 2. Calidad de agua requerida PIA DB Mendoza.

Período 2010-2016: Transformación de PIA a PTA DB MZA

Esta instalación fue diseñada en un principio para inyección de agua dulce para recuperación secundaria, de manera que sólo se contaba con un tanque pulmón que recibía el agua de pozos de captación ubicados en el Río Colorado y bombas de inyección, obteniendo presión de salida de planta de 82 kg/cm².

A medida que la actividad se fue desarrollando en la zona, comienza a incrementarse el corte de agua en la producción de petróleo, por lo que una vez separada la misma en baterías se la envía a la planta de tratamiento de agua, pudiendo así ir disminuyendo el consumo de agua dulce y aumentando el agua a tratar.

Para incrementar la presión de inyección se incorporó otro sistema compuesto por bomba Booster + bomba de alta presión de manera de mantener la misma en 87 kg/cm².

Adicionalmente, se desafecta el tanque pulmón que existía y se reemplaza por otro que cumpla con los requerimientos de Integridad para agua de producción y con la normativa para agua con trazas de hidrocarburo.

Período 2017-2018: Incorporación de equipos para tratamiento de agua

En base a los requerimientos de mejorar la calidad de agua, surge la necesidad de incorporar equipos de tratamiento de agua.

Es por ello que en primer lugar se incorpora un tanque skimmer, cuyo diseño consta con platos de coalescencia para favorecer la separación hidrocarburo-agua por diferencia de densidades, de manera que el agua separada sea retirada por la parte inferior y las trazas de hidrocarburo por la parte superior.

Adicionalmente se incorpora una unidad de flotación por gas inducido (UFGI). En este equipo el objetivo principal es la remoción de los sólidos en suspensión. Se favorece el contacto del sólido con las burbujas que se forman producto del gas que ingresa por la parte superior y la agitación de las paletas en el interior del equipo. La espuma formada, rica en sólidos, es retirada del equipo mediante skimmers regulables ubicados a los lados del mismo, el agua avanza por cada una de las cámaras mejorando su calidad así su calidad.

Habiendo incorporado estos equipos que permiten la separación de hidrocarburos y sólidos surge la necesidad de disponer del agua residual que los contiene, por lo que adicionalmente se agrega un tanque de efluentes.

Para poder evaluar la efectividad de los cambios incorporados se incorpora un laboratorio tercerizado in situ y un medidor de hidrocarburo (HC) on line, cuyo principio de funcionamiento se basa en la pirólisis de la muestra para posterior medición del CO₂.

Para optimizar la eficiencia de los equipos instalados se incorporan los siguientes químicos:

- Ingreso a tanque skimmer: Desemulsionante inversa/ Biocida

Calidad de agua de inyección

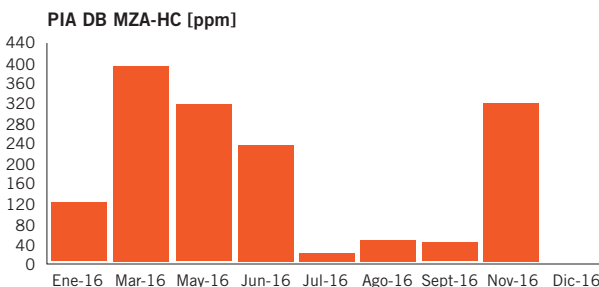


Figura 1. Hidrocarburo en la salida de Planta

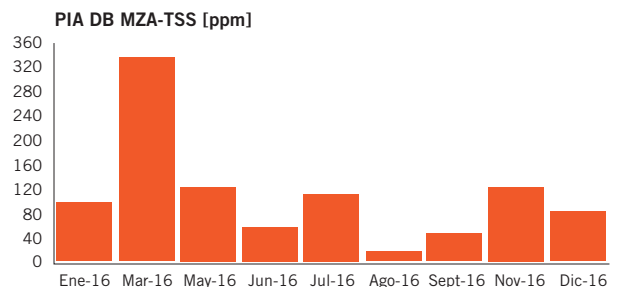


Figura 2. Sólidos totales en suspensión en la salida de Planta

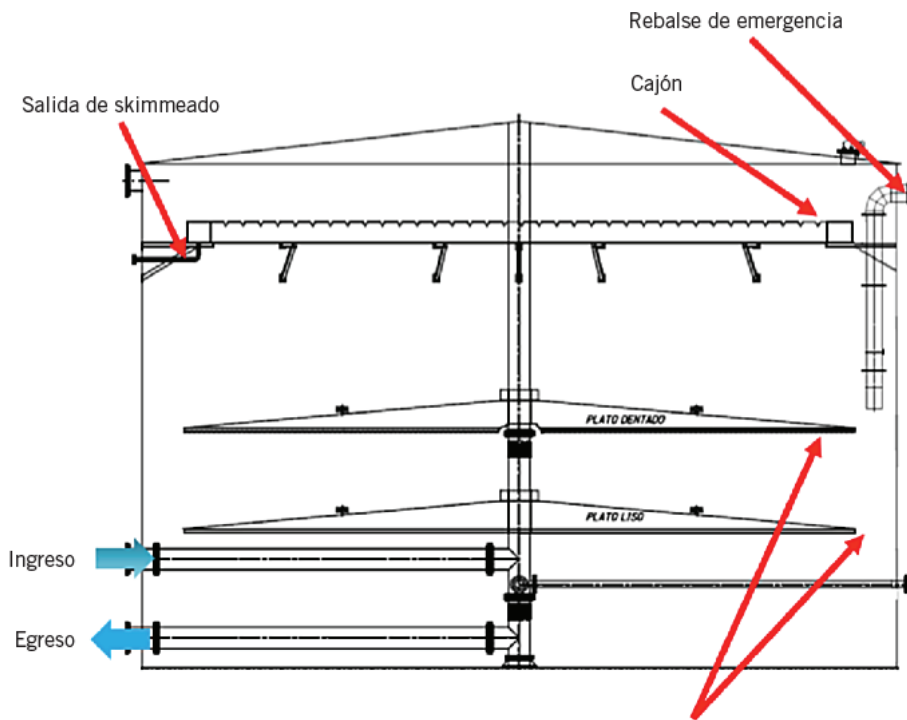


Figura 3. Tanque skimmer.

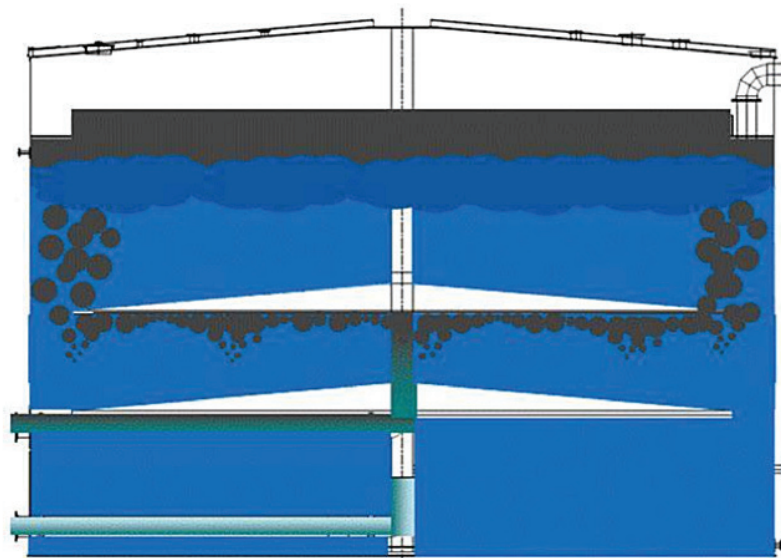


Figura 4. Patrón de distribución de flujo en tanque skimmer.

- Ingreso Unidad de flotación: Floculante
 - Salida de Planta Chachahuén: Secuestrante de O₂
- Período 2019-2023: Incorporación de equipos para filtración, puesta en marcha de Plantas inyectoras de polímeros (PIU) y adecuación del tratamiento químico.
- Si bien la calidad de agua de inyección se ve notablemente mejorada con la incorporación de los equipos de tratamiento y se alcanza el objetivo en el valor de hidrocarburo en agua, aún resta bajar aún más el contenido de sólidos totales en suspensión para cumplir con el requerimiento fijado inicialmente.
- Ante esta necesidad se realiza un workshop con las tecnologías disponibles en el corto plazo y se decide

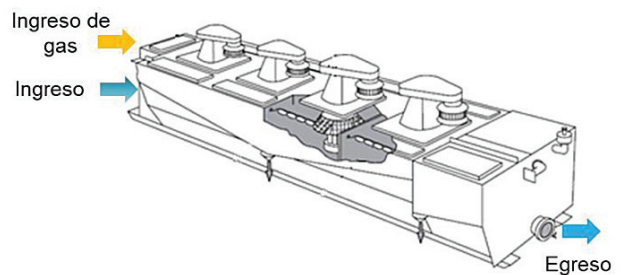


Figura 5. UFGI. Fuente: Manual MOM AutoFlot A26 Whittier.

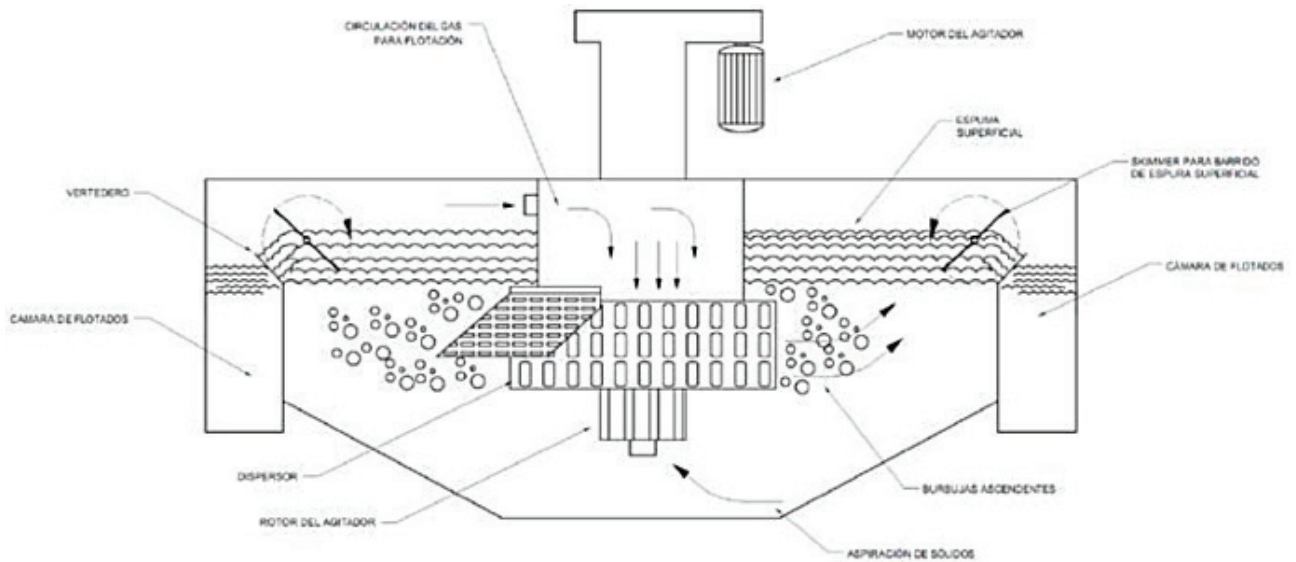


Figura 6. Celda de la UFGI. Fuente: Manual MOM AutoFlot A26 Whittier.



Principio de medición
 ↓
PIRÓLISIS DE LA MUESTRA Y MEDICIÓN DE CO₂
 ↓
 Variables medibles
 ↓
HC

Figura 7. Medidor de HC. Fuente: Manual_QuickTOC Ultra 08E3814_rev.

avanzar con una unidad de filtrado que no había sido utilizada nunca en el mercado.

La misma cuenta con filtros supersand, tanque pulmón y filtros bolsa.

Los filtros supersand son equipos que contienen un lecho filtrante de arena fluidizada. La alimentación es conducida desde la parte superior hasta por debajo de la zona media para ser distribuida a través de un caño ranurado para evitar canalizaciones, de esta manera el agua ingresante se mueve de manera ascendente a través del lecho, quedando absorbidos en la arena el hidrocarburo y el sólido. Luego se procede al lavado de la arena con una pequeña parte del agua filtrada, finalmente por un vertedero se separa el rechazo y por otro vertedero superior se descarga el agua a tanque.

Luego del sistema de filtrado, está la zona de los tanques pulmón y posterior bombeo hacia los filtros bolsa, los cuales poseen un housing y un filtro descartable.

Calidad de agua de inyección

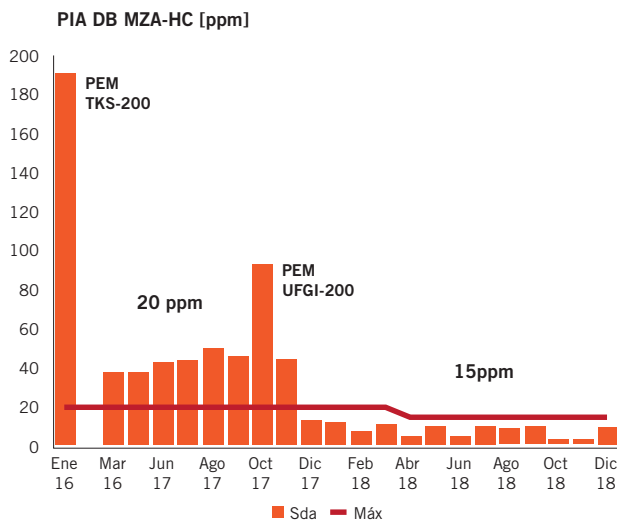


Figura 8. Hidrocarburo en la salida de Planta.

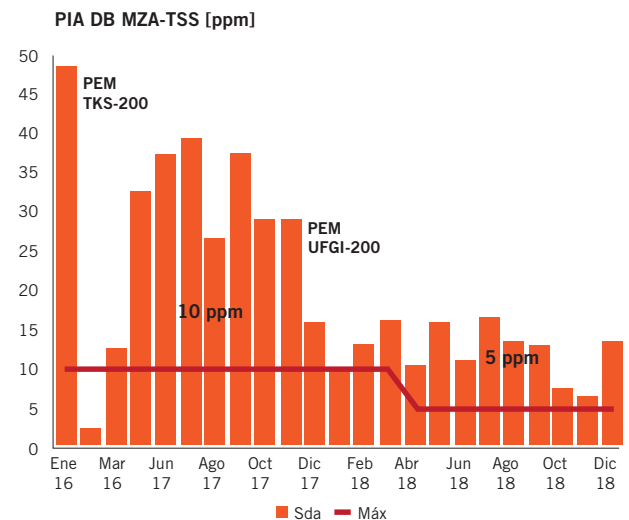


Figura 9. Sólidos totales en suspensión en la salida de Planta.

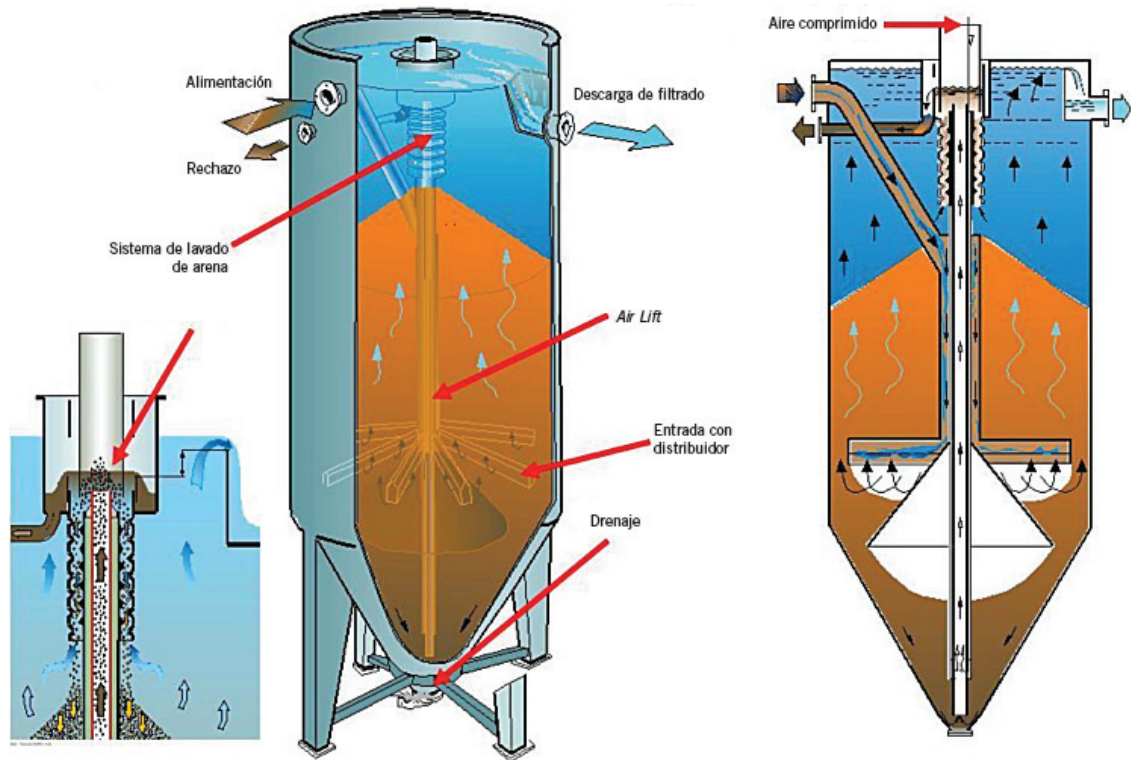


Figura 10. Filtro supersand.

Al incorporar la unidad de filtración a los equipos de separación (tanque skimmer y unidad de flotación), se genera una mayor cantidad de efluentes, por lo que re-

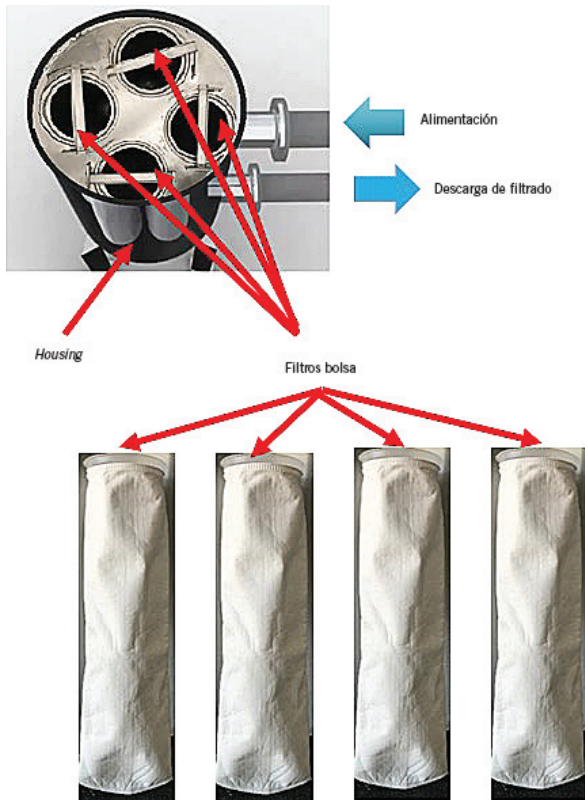


Figura 11. Filtro bolsa.

sulta imprescindible el montaje de una planta de tratamiento de efluentes (PTE). La misma cuenta con tanques de recepción/ homogenización de producto y separadores centrífugos bifásicos, de manera de separar los sólidos definitivamente del sistema y darles disposición final.

Debido a la necesidad de tener mayor precisión en los datos de salida de planta se incorpora un medidor de hidrocarburo (HC), sólidos totales en suspensión (TSS) y distribución de tamaño de partículas (DTP) on line. El método utilizado es la video microscopía, el cual da mayor precisión. Adicionalmente se incrementa la frecuencia de muestreo y se incorporan laboratorios especializados para agregar análisis de precisión de manera de tener mayor confiabilidad en las determinaciones realizadas.

Al tratamiento que se realizaba anteriormente, se le agregan nuevos puntos de dosificación:

- Ingreso a tanque skimmer: Desemulsionante inversa/ Biocida/ Secuestrante de sulfhídrico
- Ingreso Unidad de flotación: Floculante
- Ingreso filtros supersand: Coagulante / Secuestrante de sulfhídrico/ Oxidante
- Ingreso tanques pulmón unidad de filtración: Sec. de O₂
- Ingreso separadores centrífugos: Aglutinante/ ácido tipo paracético
- Ingreso tanque pulmón: Biocida
- Salida de Planta Desfiladero: Sec. de O₂
- Salida de Planta Chachahuén: Secuestrante de O₂
- Salida de tanques de efluentes: Biocida
- Ingreso a Planta de Batería Chachahuén/ Desfiladero Bayo 01: Oxidante y desemulsionante inverso aniónico
- Entrada de tanques de efluentes: Oxidante

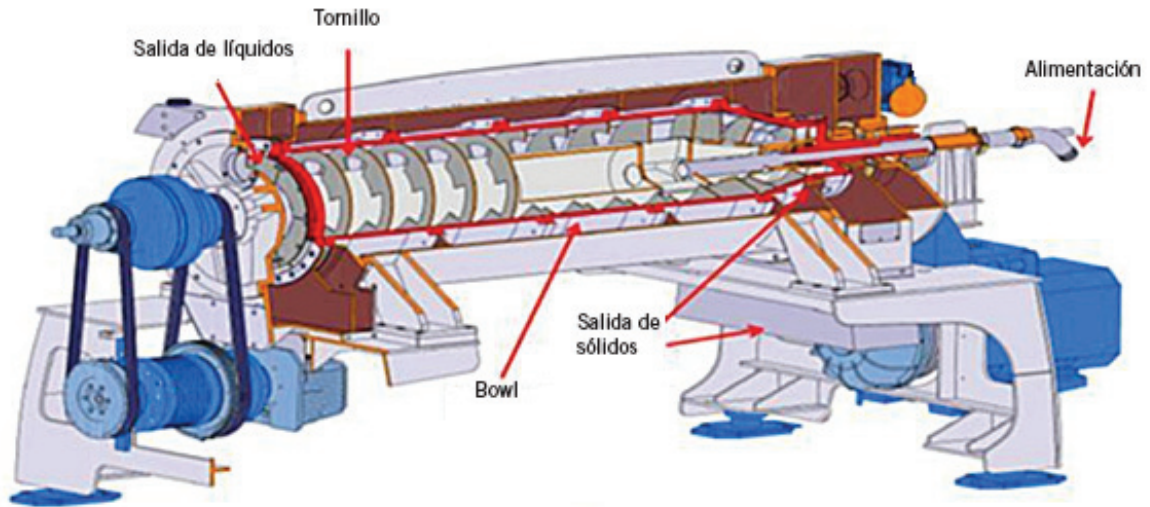


Figura 12. Separador centrífugo. Fuente: manual Peralisi

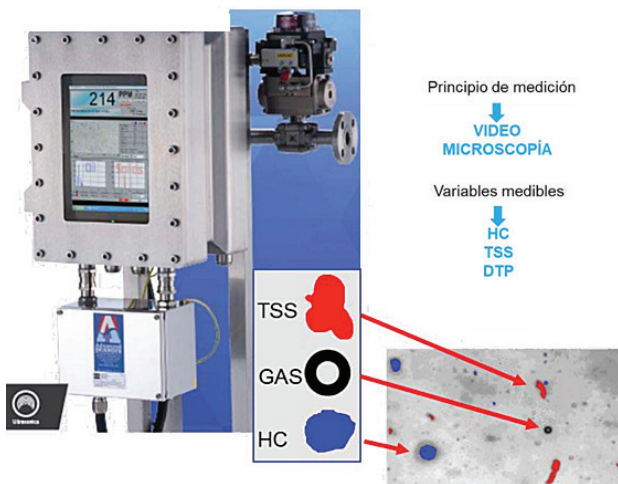


Figura 13. Medidor de HC, TSS y DTP. Fuente: Advanced sensors limited Operation Manual.

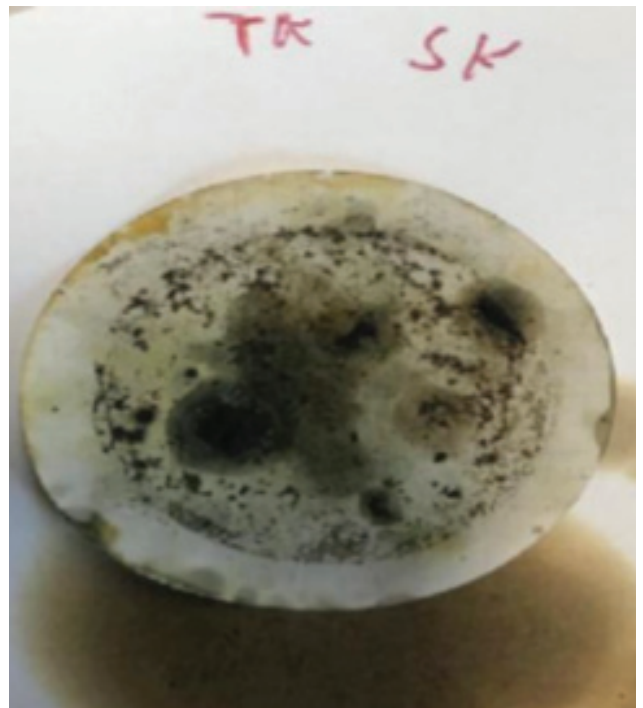


Figura 15. Muestra de laboratorio obtenida de tanque skimmer.

Interacción del polímero en la calidad de agua Detección y caracterización del polímero en el sistema

En un paro de planta programado por mantenimiento se encuentra un aumento de fouling en el sistema, detectándose una mayor afectación en el tanque skimmer, la UFGI y las cañerías de la PTE.



Figura 14. Muestras de ensuciamiento encontrado en las instalaciones de planta.

Distribución de sólidos

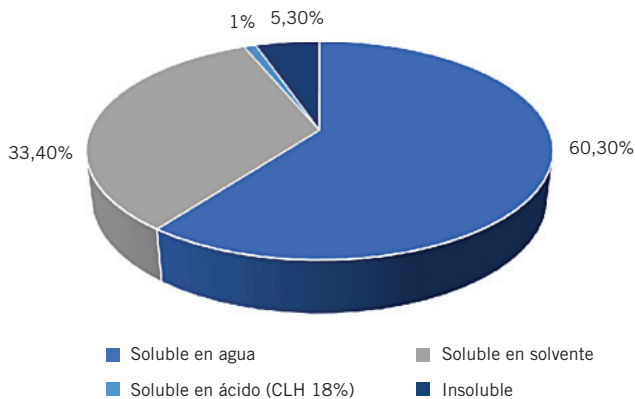


Figura 16. Resultado de la Caracterización de la muestra de sólido del tanque skimmer.

Fases obtenidas por centrifugación	Porcentaje [w/w]	Norma
Parafina	0,51	ASTM D-6560/ UOP 614
Asfaltenos	6,96	ASTM D-6560
Residuo	1,78	ASTM D-6560

Tabla 3. Caracterización de la fase sólida del tanque skimmer

Fases obtenidas por centrifugación	Porcentaje [v/v]
Fase Sobrenadante - oleosa negra	44%
Fase Acuosa con pequeños sólidos suspendidos	55%
Fase Sólida - sedimentado negro	1%

Tabla 4. Fases obtenidas por centrifugación.

Fases obtenidas por centrifugación	Porcentaje [v/v]
Soluble en pentano	57,9%
Soluble en tolueno	7,4%
Soluble en HCL 18% (v/v)	34%
Residuo	0,7%

Tabla 5. Caracterización de la fase sólida

Para poder determinar la naturaleza del fouling, se toma como referencia el tanque skimmer del cual se extrae una muestra para su caracterización.

Adicionalmente, se envía una muestra a un laboratorio especializado para profundizar el análisis.

Una vez centrifugada la muestra, se obtienen 3 fases:

Para determinar el origen de los sólidos, se procede con la caracterización de la fase sedimentada.

Luego se analiza la fase acuosa para determinar la composición de la misma. Ver tabla 6.



Figura 17. Muestra recibida del tanque skimmer.



Figura 18. Muestra decantada en una ampolla.



Figura 19. Muestra centrifugada (tres fases).

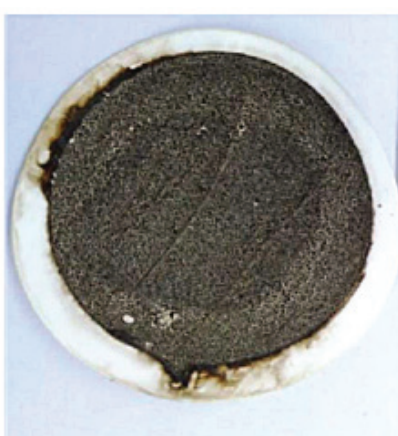


Figura 20. Membranas utilizadas en la caracterización

Determinación	Resultados	Unidades	Tratamiento	Determinación
Poliacrilamida	33,38	Mg/l	Filtración	Método de Hyamine

Tabla 6. Resultado de análisis de laboratorio fondo de tanque skimmer

Plan de acción

Monitoreo

En función de la muestra caracterizada y los resultados encontrados se implementa un plan de monitoreo en el cual se mide frecuentemente el polímero residual que ingresa a la PTA, de manera de identificar el origen del mismo.

Punto de muestreo /Fecha	Jun 22	Jul 22	Ago 22	Sep 22	Oct 22	Nov 22	Dic 22	Ene 23	Feb 23	Mar 23	Abr 23	May 23	Jun 23	Jul 23
Sda agua BAT 01 DB										28	5,97	6	9,23	<5
Sda agua BAT 03 DB														<5
Sda agua BAT 01 CHA										18	<5	<5	<5	36,42
Eda Skimmer PTA	<50	<50	<50	7	20	9	<5	10	<5	7,5	9	6,48	6,31	<5

Tabla 7. Seguimiento del polímero residual [mg/l]

Análisis de compatibilidad

Adicional al plan de monitoreo se implementa un estudio de incompatibilidad entre cada uno de los productos químicos utilizados en la Planta de Tratamiento de Agua y el polímero.

Se mezcla cada una de las muestras con solución polimérica (de 2500 ppm) en una relación 1:1 y se incorpora el producto químico utilizado en la planta con una concentración de 15ppm. Se realizan tratamientos de agitación y calentamiento (hasta 55°C), se mide el pH

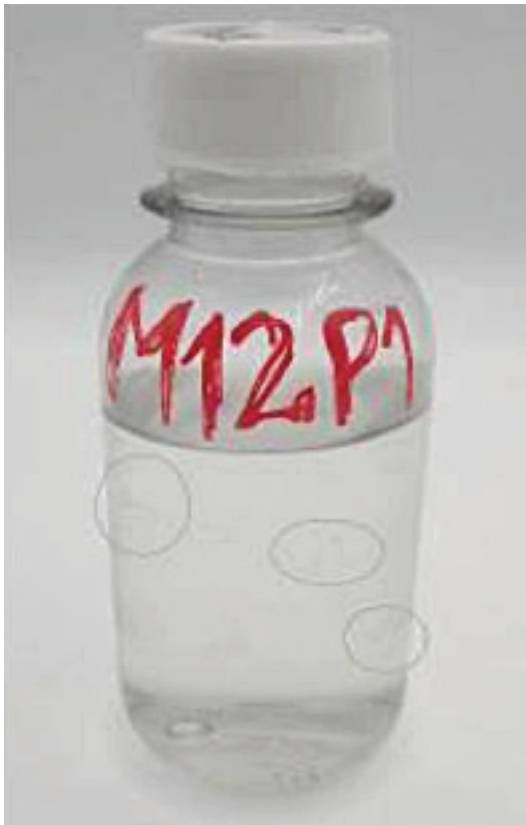


Figura 21. M12 P1: Mezclas de bruta M12, solución de poliácridamida (2500 ppm) y producto.

y viscosidad.

En las pruebas se observaron la formación de flóculos en dos productos químicos, los cuales son utilizados en el ingreso de la UFGI y en el ingreso a los filtros, los mismos fueron separados, secados a 105°C en estufa y caracterizados por espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier. Los espectros de los flóculos coincidieron con los espectros de los productos puros de poliácridamida SNF y BASF, por lo que se concluye que los mismos corresponden a poliácridamida químico (P1) después del tratamiento físico a 55°C. Se observa la formación de flóculos.

De este análisis, se detectan dos productos incompatibles con el polímero.

- Incompatibilidad en la muestra de salida de TK Skimmer con el producto químico (Floculante catiónico) en la planta de tratamiento e inyección de agua PIA. El componente principal es una poliácridamida catiónica en emulsión
- Incompatibilidad en la muestra de salida de unidad flotación con el producto químico (Coagulante) en la planta de tratamiento e inyección de agua PIA. El componente principal del (Coagulante) es polícloruro de aluminio.

Adecuación del tratamiento químico

Una vez identificados los químicos incompatibles con el polímero residual se procede con el análisis de tratamientos químicos alternativos.

Se realiza un jar test de los productos que generan incompatibilidad en la PTA con productos aniónicos y la solución polimérica utilizada en terciaria.

- Acorde con lo observado en los ensayos de jar test y con el aumento de temperatura se puede concluir

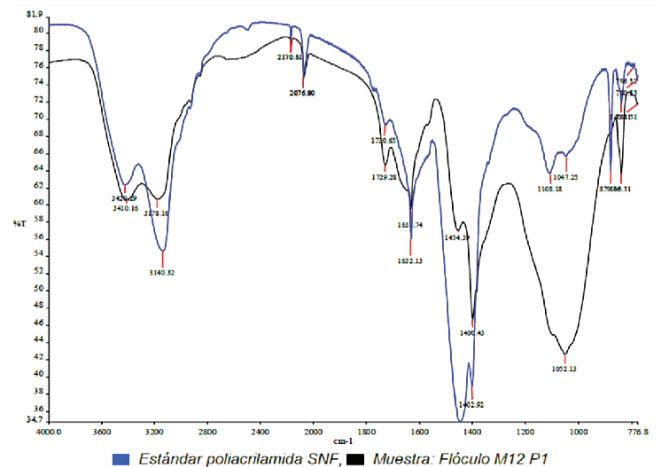


Figura 22. Espectro obtenidos por espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) para el estándar de poliácridamida y muestra.

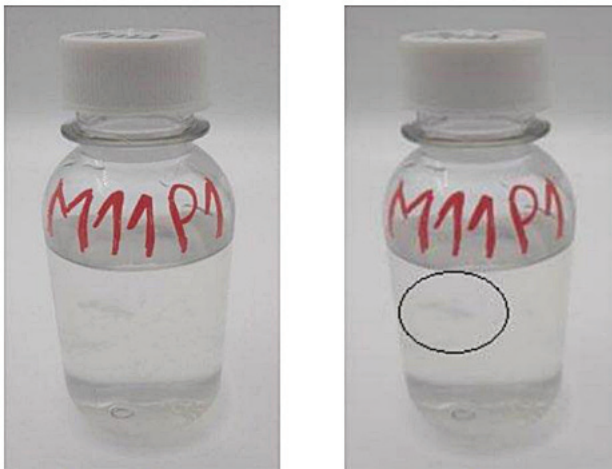


Figura 23. M11 P1: Mezclas de bruta M11, solución de poliácridamida (2500 ppm) y producto químico (P1) después del tratamiento físico a 55°C. Se observa la formación de flocúlos.



Figura 25. Jar test de productos químicos Puesta en Marcha de Plantas Inyectoras de Polímeros (PIU).

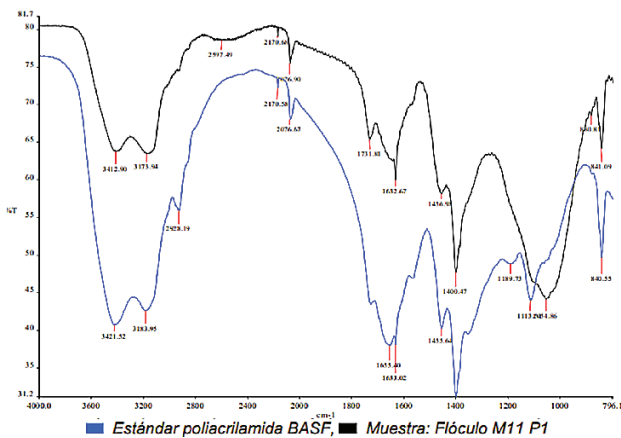


Figura 24. Espectro obtenidos por espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) para el estándar de poliácridamida y muestra.

que, para ambas concentraciones de solución polimérica empleada en la composición de la muestra: No se registran incompatibilidades al realizar las mezclas y al dosificarlas con las distintas concentraciones de (floculante aniónico) solicitadas. Si se observa que, al emplear una dosis de 15ppm de floculante, la muestra se torna levemente opalescente propio de la sobredosificación de este producto.

- No se registran incompatibilidades al aplicar temperatura hasta los 55°C; se observa una leve mejora en el aspecto en lo que a clarificación respecta

Inicialmente se contaba con dos PIUs que se alimentaban exclusivamente de agua dulce en DBM y una planta con agua de producción.

Luego de las mejoras incorporadas, fue posible instalar cuatro PIUs adicionales en Chachahuén que se abastecen con agua de producción cumpliendo las viscosidades objetivos en las mismas.

Calidad de agua de inyección

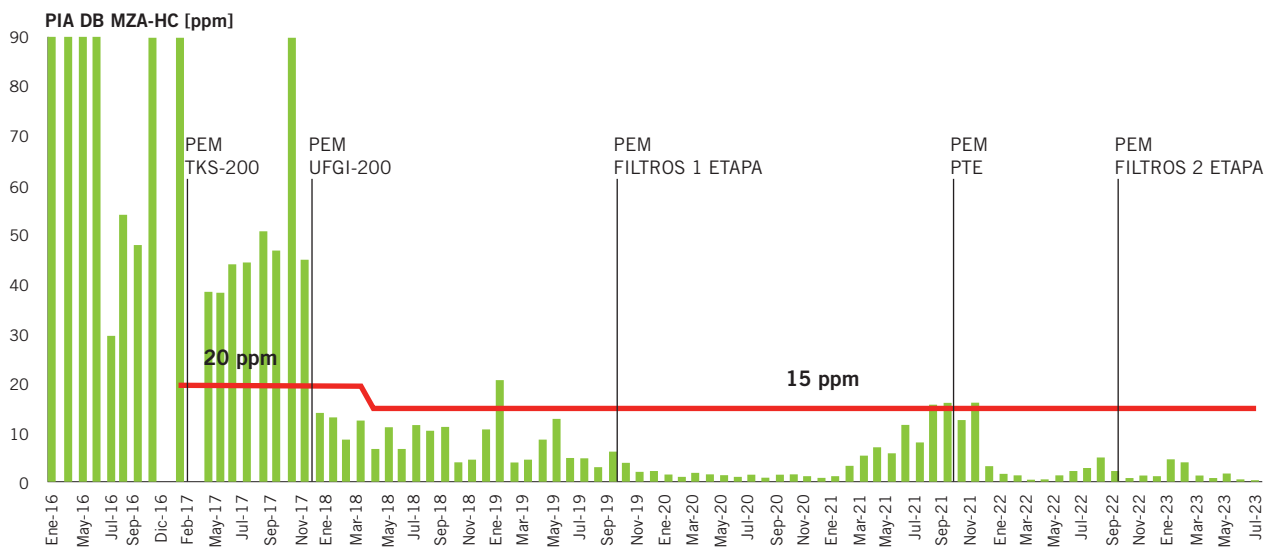


Figura 26. Hidrocarburo en la salida de Planta.

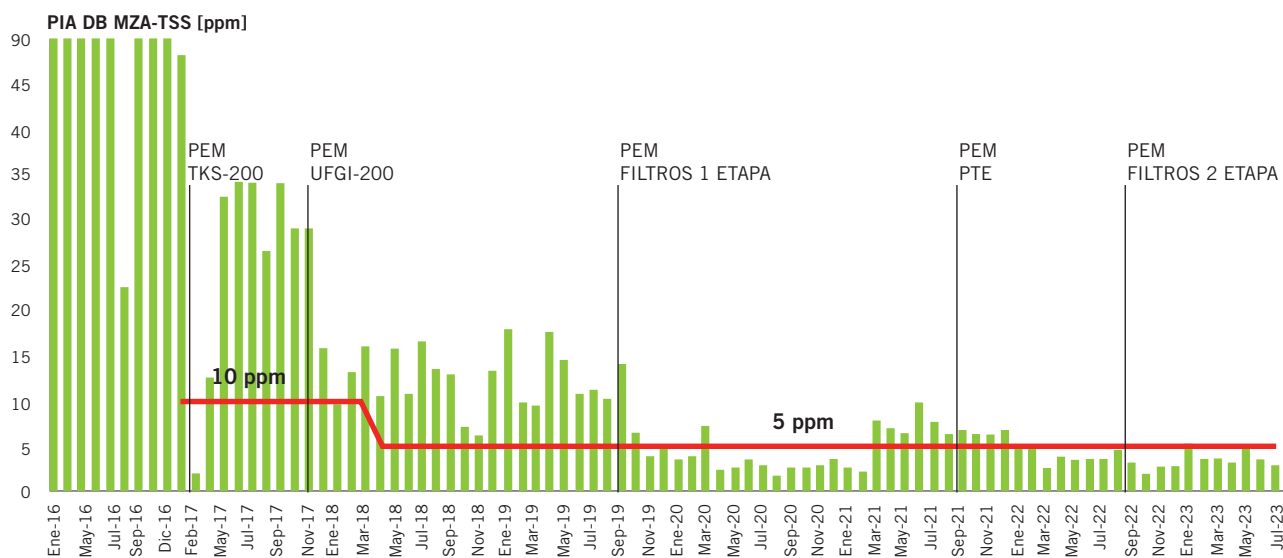


Figura 27. Sólidos totales en suspensión en la salida de Planta.

Conclusiones

Luego de haber realizado las mejoras en una instalación diseñada inicialmente para la inyección de agua dulce se obtiene una planta de tratamiento de agua de producción, cuya calidad permite que se continúe con la recuperación secundaria en la zona y se amplíe la recuperación terciaria.

Adicionalmente se pueden listar los siguientes hitos cumplidos:

- Disminución del consumo de agua dulce, bajando los costos de la misma y reduciendo el impacto ambiental.
- Estabilidad en la calidad de agua requerida con la incorporación de nuevos equipos de tratamiento de agua.
- Aumento de la producción asociada a secundaria y terciaria.
- Medicion On -Line de Calidad de agua la cual permite identificar los desvíos de forma inmediata de manera de poder tomar acción sobre los mismos.
- Reducción de intervenciones en pozos inyectoros debidas al fouling, corrosión y sistema bacteriano.
- Adecuación del tratamiento químico en función de la compatibilidad con el polímero. En función de las incompatibilidades analizadas, se reemplazan productos catiónicos por aniónicos.
- Disminución del fouling en el sistema a causa de residual de polímero por medio de dos métodos: tratamiento químico (oxidantes) y tratamiento mecánico (decanter en planta de tratamiento de efluentes).

Referencias

- Manual de producción del Upstream YPF S.A.
- Manual MOM AutoFlot A26 Whittier
- Manual de filtros Supersand DS 5000
- Manual Pieralisi de Separador Centrifugo MAIOR HS Applied Water Technology, Patton
- Manual_QuickTOCultra08E3814_rev
- Advanced sensors limited Installation Manual ASL-P409731-
- Advanced sensors limited Operation Manual ASL-P409731-007
- SNF. Water treatment considerations in polymer flooding projects. March 2021

Ensayos realizados en conjunto con el Laboratorio de Análisis instrumental /Laboratorio de efluentes líquidos / Laboratorio de fluidos complejos. Universidad Nacional de Cuyo