

# **INYECCION DE AGUA DE PRODUCCION - IMPORTANCIA DE UNA METODOLOGÍA DE TRABAJO DESDE EL PROYECTO A LA OPERACIÓN**

**Conrado A. Ebner**  
**Petrolera Entre Lomas S.A.**

## **RESUMEN**

El Area Entre Lomas durante 1995/1996 completa el proyecto de inyección del agua de producción y en 1997 comienza la operación de las plantas y la inyección. Actualmente se inyectan 7500 m<sup>3</sup>/d que es el total del agua producida, parte en la formación Tordillo a una profundidad de 2200 mbbp para recuperación secundaria y el resto en la formación Centenario (1700 mbbp) como sumidero. El agua producida es altamente corrosiva y con sólidos en suspensión de difícil separación. Dentro de las características principales podemos destacar su alta salinidad, con un total de sales disueltas de 100.000 mg/l, 85 gr/l ClNa, 4ppm H<sub>2</sub>S, sulfuros y otros productos de corrosión, además de sólidos coloidales, arcillas, emulsiones, parafinas y asfaltenos.

La calidad de agua fijada por ingeniería de reservorios se basa en mantener la menor cantidad de sólidos, especificando 2 ppm de TSS con un IPR de 4. Estas especificaciones se deben a que la Fm.Tordillo tiene muy baja permeabilidad, siendo su valor promedio de 10 milidarcys con mínimos de 1 a 2 milidarcys.

Asegurar la calidad del agua a inyectar, manteniendo las especificaciones dadas por reservorio, fue todo un desafío.

Detallamos como fueron superándose los estudios y análisis a través de los diferentes grupos de trabajo hasta la actualidad. Dividimos los estudios en dos etapas:

- ◆ Etapa del Proyecto
- ◆ Etapa de la Operación

En nuestra experiencia consideramos de suma importancia, involucrar a los sectores ingeniería de reservorio, proyecto y corrosión junto con sectores operativos de producción, mantenimiento, seguridad y medioambiente. desde la etapa inicial del proyecto, definiendo entre otros puntos:

- ubicación de plantas
- selección de equipos y proceso
- selección de materiales
- tratamiento químico
- operación y control de las plantas

Como conclusión de este trabajo creemos que además del aporte técnico a los procesos es importante poner de relieve los beneficios que resultan el aplicar una metodología desde el principio del proyecto.

La metodología aplicada para este proyecto en el Area Entre Lomas nos permitió:

- ❑ Involucrar a todos los sectores
- ❑ Cumplir con el proyecto en el menor tiempo
- ❑ Analizar los detalles desde el principio del proyecto
- ❑ Evaluar eficientemente la operación, permitiendo una mejora continua

- ❑ Agilizar la toma de decisiones ante problemas o fallas
- ❑ Adquirir experiencia para aplicarla en otros proyectos
- ❑ Directa e indirectamente mejorar la eficiencia de explotación del Yacimiento

## INTRODUCCION

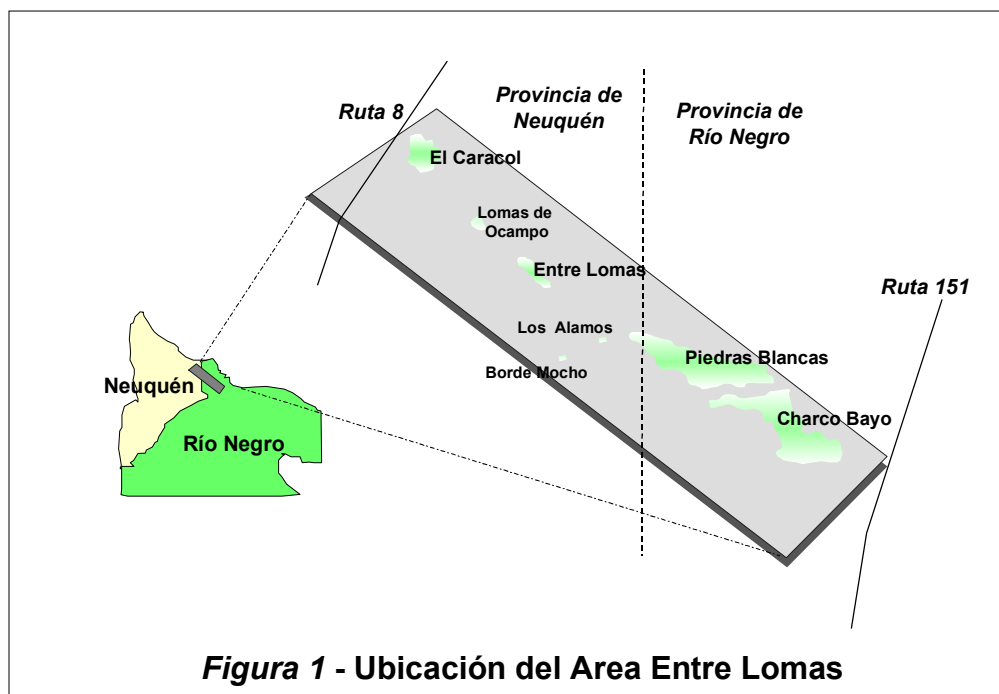
Este trabajo muestra las etapas previas y el análisis técnico del proyecto para llegar a la selección de los procesos y construcción de la Planta de Tratamiento e Inyección de Agua de Producción del Area Entre Lomas.

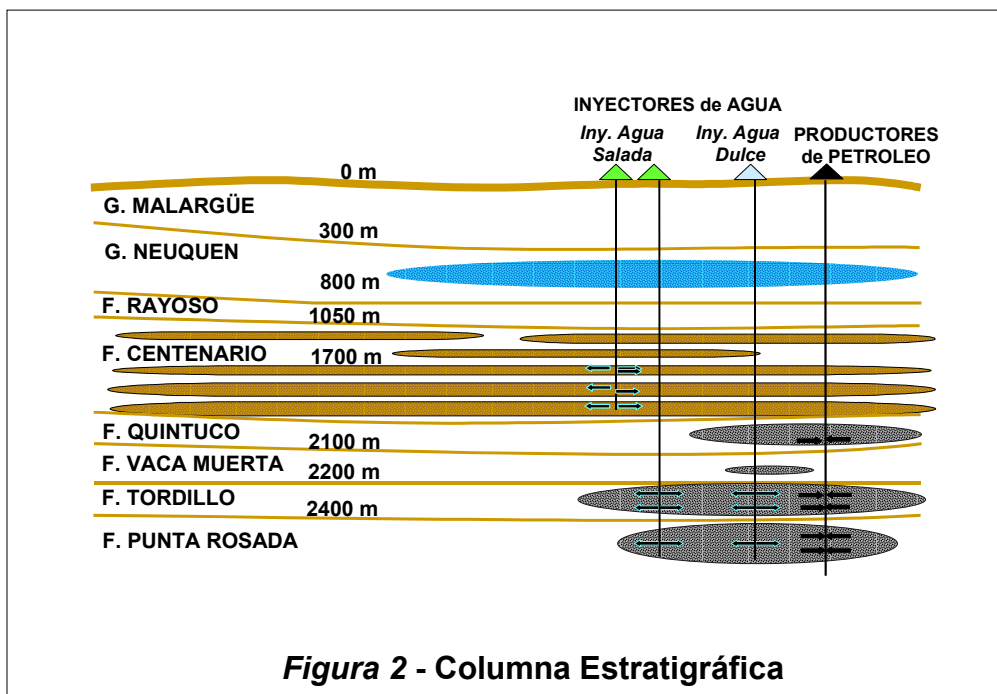
Además queremos poner de relieve la importancia que significa para este tipo de proyectos el seguimiento de una metodología de trabajo a través de grupos multidisciplinarios, involucrando a diversos sectores de ingeniería y sectores operativos desde el inicio del mismo.

### Ubicación y características del Area Entre Lomas

El Area se encuentra ubicada al nor-oeste de Río Negro y continua al nor-este de la provincia de Neuquén. Abarca una franja de 13 x 57 km y sus principales yac son Charco Bayo y Piedras blancas (RN) y Entre Lomas y El Caracol (Nq). Esta situada en el sector nor-oriental de la Cuenca Neuquina. (ver *figura 1*)

Los horizontes petrolíferos están entre 1800 y 2400 mbbp, las formaciones Quintuco, Tordillo y Punta Rosada son las principales productoras de petróleo y gas del Area (ver *figura 2*)





## Historia y anteproyecto

En el año 1975 comienza la recuperación secundaria en el yacimiento CB/PB), en 1982 en el yacimiento EC y en 1998 en el yacimiento Entre Lomas, todos los sistemas inyectan a la formación Tordillo agua de baja salinidad extraída por medio bombas electrosumergibles desde un acuífero profundo e inyectada a la formación productiva a un caudal promedio total de 11000 m/d.

Estos sistemas están totalmente inertizados con gas desde el pozo productor de agua y solamente tienen tratamientos puntuales para control microbiológico.

Debido al incremento del porcentaje de agua en los fluidos de producción, se comienza el estudio y proyecto de reinyección del agua producida, inicialmente para inyectar un determinado volumen dentro del esquema de recuperación secundaria del Area y el resto a pozos sumideros.

Consideramos que la selección del proceso para el tratamiento del agua de producción y su correcta operatividad son un pilar fundamental para el éxito del proyecto.

Se forman grupos de trabajo involucrando a los distintos sectores de la operación:

- Ing de Reservorio
- Ing de Proyecto
- Ing de Producción
- Ing.de Corrosión
- Producción
- Mantenimiento
- Seguridad y Medioambiente

Todos los grupos fueron aportando ideas y cuestionamientos a medida que se desarrollaba el proyecto. Esta metodología aplicada fue sumamente importante porque se corrigieron errores y se evitaron las pérdidas de tiempo que ocasionan modificaciones y revisiones innecesarias. Las recomendaciones permitieron ajustar detalles desde el inicio, definiéndose condiciones de seguridad, medioambiente, operativas y de mantenimiento que facilitaron al final la puesta en marcha y posterior operación.

Es necesario que estos grupos **se formen y participen desde el inicio del proyecto**, y deben también **continuar durante la puesta en marcha y operación de las plantas**.

## DESARROLLO

Para ser mas didácticos, dividimos los principales puntos a tratar en dos etapas:

- I) Etapa del Proyecto
- II) Etapa de Puesta en marcha y Operación.

### I) Etapa del Proyecto

Esta etapa abarca los estudios de factibilidad, ingeniería y construcción.

- Estudios de Reservorio (completa los existentes)
- Definición del diseño para recuperación secundaria. (“pattern seven spot”), similar al que se aplica en la inyección de agua dulce existente.
- Diseño y ubicación de pozos sumideros.
- Especificación de calidad de agua a inyectar, con valores recomendados y máximos de sólidos admisibles
- Estudio del agua de producción actual y futura (tipo de sólidos, composición iónica, gases disueltos, etc)
- Compatibilidad de aguas dentro de las mezclas posibles. Inestabilidad de los carbonatos y sulfatos.
- Proyección futura de la extracción (Gas Lift, Bombeo Mecánico, Bombeo Electrosumergible, Deshidratación, Estimulación de pozos. etc)
- Ubicación de las Plantas de Tratamiento e Inyección. (mejor ubicación desde el punto de vista técnico y operativo)
- Selección del proceso mas adecuado a nuestro fluidos y método de operación.
- Selección de equipos, materiales y control del sistema. (resistencia a la corrosión, tratamientos químicos y monitoreos en el sistema )
- Disposición de efluentes de los procesos (muy importante gestionar y disponer adecuadamente los efluentes debido a la certificación de normas ISO de medioambiente y seguridad)

Completando los estudios de reservorio y ubicación de pozos inyectoros y sumideros, continuamos con el análisis técnico.

Analizamos y evaluamos las características del agua separada de producción.

*(ver figura 3)*

| <b>Características Principales</b> | <b>Agua de Producción</b> | <b>Agua a Inyectar</b> |
|------------------------------------|---------------------------|------------------------|
| <i>pH</i>                          | 6.5                       | 6.5                    |
| <i>Salinidad</i>                   | 85000 mg/l                | 85000 mg/l             |
| <i>H2S</i>                         | 4 ppm                     | 4 ppm                  |
| <i>CO2</i>                         | 50 ppm                    | 50 ppm                 |
| <i>Ca++</i>                        | 19000 mg/l                | 19000 mg/l             |
| <i>Mg++</i>                        | 700 mg/l                  | 700 mg/l               |
| <i>CO3H-</i>                       | 100 mg/l                  | 100 mg/l               |
| <i>SO4=</i>                        | 680 mg/l                  | 680 mg/l               |
| <i>S.I.(S&amp;D)</i>               | + 2                       | +2                     |
| <i>O/W</i>                         | 1000 ppm                  | 0 - 2 ppm              |
| <i>Otros Sólidos</i>               | 100 ppm                   | 4 - 2 ppm              |
| <i>Bact.(BRS/BAT)</i>              | 3+ / 4+                   | 1+ / 3+                |
| <i>Oxígeno</i>                     | 0,500 ppm                 | 0.010 - 0.020 ppm      |

**Caudal a Inyectar** = inicial: 6000 m3/d  
final: 12000 m3/d

**Presión de Inyección** = 2000 psi

**Figura 3 - Características del Agua**

De acuerdo a sus características, el agua a inyectar debe tener tratamientos preventivos y correctivos para evitar problemas y riesgos en la operación. Los principales factores de riesgo a controlar son:

- Alta corrosividad
  - elevada salinidad,
  - gases disueltos CO2, H2S
  - contaminación bacterial
- Tendencia a incrustaciones
  - Inestabilidad de los carbonatos
- Alto contenido de sólidos
  - sulfuros
  - arcillas
  - parafinas y asfaltenos

El objetivo a alcanzar por medio del proceso y tratamientos auxiliares:

- Disminución de los sólidos en suspensión
- Control bacterial
- Estricto control de oxígeno
- Control preventivo de incrustaciones

Una vez definida la calidad de agua y procesos de tratamiento, se seleccionaron los equipos e instalaciones necesarias para la inyección. Paralelamente se completan los estudios para:

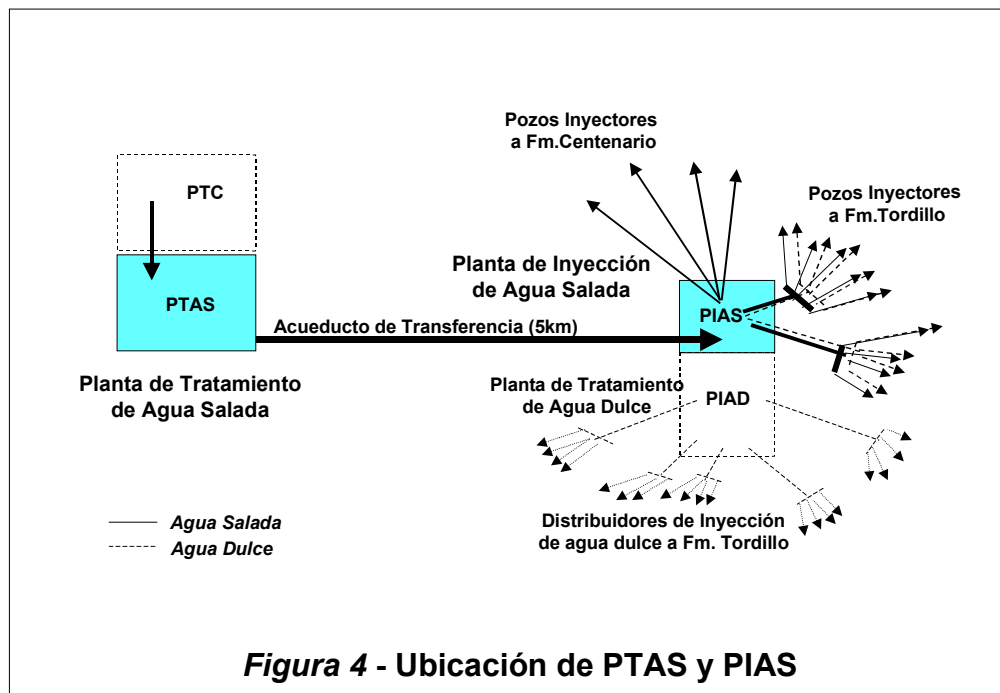
- Definir los pozos sumideros en bordes de la zona de explotación. Perforar nuevos y acondicionar pozos existentes haciendo la conversión de los mismos.

- Seleccionar los pozos inyectores de agua dulce y acondicionarlos adecuadamente para inyectar agua salada.
- Programar las obras a realizar para la reparaciones en los distribuidores de inyección que pasarán de agua dulce a salada.
- Definir la futura ubicación de las plantas y comenzar con la ingeniería de detalle del proyecto.

### Ubicación de las plantas

- La PTAS (planta de tratamiento de agua salada) se ubica a continuación de la PTC (planta de tratamiento de crudo), por la importancia que significa el tener un estricto control de los procesos.
- La PIAS (planta de inyección de agua salada) se ubica a continuación de la actual planta de inyección de agua dulce (PIAD), distante 5 km de PTAS vinculándose con ésta, por medio de un acueducto de transferencia.

(ver figura 4)



Según lo planteado anteriormente nuestro principal desafío y objetivo es mantener una excelente calidad de agua a inyectar.

- Por lo que debemos separar eficientemente los sólidos presentes de acuerdo a sus características físico - químicas (hidrocarburos, emulsiones, sólidos muy finos, etc.).
- Mantener al mínimo las concentraciones de sólidos, evitando su generación en el sistema. (productos de corrosión y bioproductos bacteriológicos, utilizar materiales resistentes a la corrosión., tener un buen monitoreo y control del proceso)

- Por otro lado desde el punto de vista ambiental debemos disponer adecuadamente los efluentes. Este fue un trabajo integral con todos los efluentes del Area, para minimizar su generación, concentrarlos y centralizarlos para luego realizar una disposición final con el menor impacto ambiental. *(ver trabajo presentado en las Jornadas del "Cuidado del Medioambiente en la Industria del Petróleo y Gas"- IAPG Salta-15 de Octubre 2000)*

## Procesos

De los análisis y estudios realizados coincidimos que para garantizar la calidad de agua especificada de acuerdo a los objetivos planteados, el proceso de la PTAS, debería contar con:

- ❑ Tres etapas de separación para los sólidos existentes:
  - Separación por gravedad
  - Separación por flotación
  - Separación por filtración
- ❑ Tratamientos químicos auxiliares para el proceso
  - Secuestro del Oxígeno disuelto
  - Control de la contaminación bacterial
  - Control preventivo de las incrustaciones
  - Coadyudante de flotación
  - Surfactante para limpieza de filtros.
  - (No se aplicaría inhibidores de corrosión inicialmente, convencidos que los controles químicos y de proceso sumado a una correcta selección de materiales la corrosión estaría controlada)*
- ❑ Sistema de concentración y disposición de efluentes de los equipos del proceso
  - Optimizar, centralizar y concentrar
  - Disposición con el menor impacto ambiental

El proceso para el tratamiento del agua se diseñó teniendo en cuenta todas las variables y etapas analizadas.

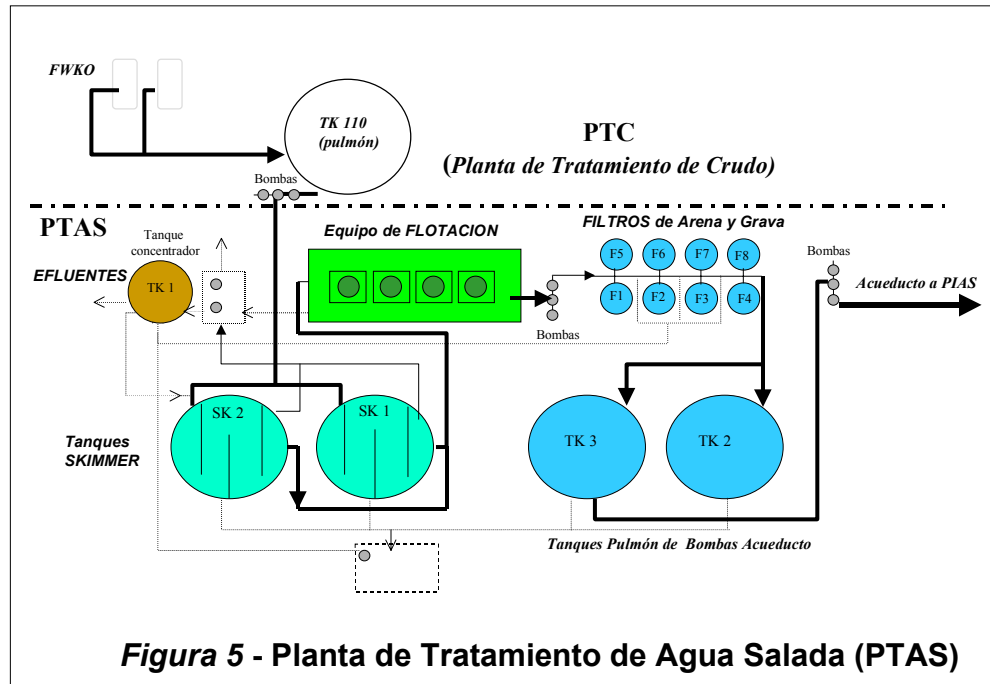
*(ver figura 5)*

Al agua separada en PTC, en una primera etapa de separación **por gravedad** se le elimina la mayor parte de hidrocarburo, pasando el fluido a través de tanques separadores Skimmer (baffles internos y cajón colector final). La eficiencia varía según la cantidad de hidrocarburo presente pero asegurando un promedio de salida de los tanques entre 50 a 100 ppm de sólidos totales sin influir si las concentraciones de entrada son elevadas.

Parte de los sólidos con hidrocarburo y otros sólidos que por la alta salinidad se mantienen en suspensión y no pueden ser separados pasan a la segunda etapa.

La siguiente etapa de separación **por flotación** se realiza mediante un equipo con celdas de flotación y paletas de desnatado superficial, dejando el agua prácticamente sin hidrocarburo (1 a 2 ppm de petróleo en agua).

El agua todavía contiene sólidos muy finos, sulfuros y algunos flóculos que deben ser separados para alcanzar la calidad final especificada.



La tercera etapa de **filtración** es el último proceso seleccionado para el acondicionamiento del agua. Mediante filtros de arena y grava con un proceso de filtrado ascendente (Up Flow) aseguramos la calidad del agua con un contenido máximo de sólidos totales de 4 ppm.  
(ver figura 6)

| Método       | Instalación      | Separación (ppm) | Eficiencia |
|--------------|------------------|------------------|------------|
| Gravitatorio | Tk's SKIMMER     | 1000 a 200       | 50-80%     |
| Flotación    | WEMCO + Floc.    | 200 a 4          | 90-98%     |
| Filtración   | FILTROS (UpFlow) | 4 a 2            | 50-80%     |

| Revestimientos                    | Materiales       |
|-----------------------------------|------------------|
| Pintura Epoxi (primer+bituminoso) | PRFV             |
| FBE (Founded Epoxi)               | ERFV             |
| PCF (Ceramic Epoxi)               | AISI 316 - 316 L |
| Rilsan                            | Duplex           |
| Acero encamisado c/PRFV           | Latón            |

**Figura 6 - Separación y Control de Sólidos**

Los revestimientos y materiales utilizados en este proyecto:

- Tanques de acero con sistema de pintura epoxi bituminoso, sobre bases de hormigón
- Líneas de PRFV para baja presión, en el proceso y acueducto de transferencia
- Líneas inyección de ERFV para alta presión (170 kg/cm<sup>2</sup>)
- Puentes de bombas de proceso y puentes de inyección de acero revestido con FBE y PCF en ensayo.
- Tubing J55 sin revestir hasta el packer, packer niquelado, mandriles AISI 316 o niquelados, tubing separadores revestidos interior y exterior.
- Válvulas de proceso con cuerpo de acero rilsanizado ( mariposa con internos AISI316 o bronce/aluminio y de diafragma buna n, rilzanizadas.
- Válvulas de alta presión con interior AISI 316.
- Bombas centrifugas de proceso AISI 316
- Bombas de Inyección AISI 316 y Duplex

### Efluentes

Los efluentes tienen una concentración y disposición adecuada para mantener la buena eficiencia de los procesos y cumplir con los compromisos del sistema de gestión integrado, ambiental y de seguridad, certificado por la compañía.

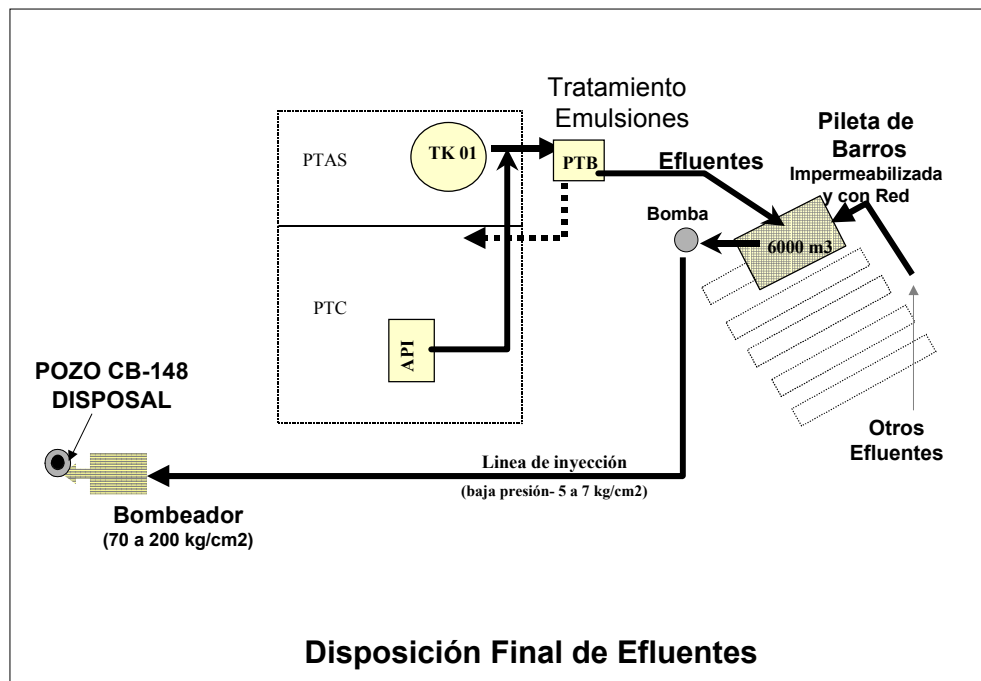
Los principales efluentes del proceso son los resultantes del lavado de los filtros de arena, los fluidos con sólidos separados del equipo de flotación y el hidrocarburo separado del skimmer. (ver *figura 7*)

| <b>Efluentes</b>                                                                                                             | <b>Disposición primaria</b> | <b>Recuperación</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------|
| - Agua Lavado Filtros                                                                                                        | TK 1(Conc.) - Pil.Barros    | 90% agua            |
| - Flóculos “Eq.Wemco”                                                                                                        | TK 1 o PTB o Pil.Barros     | 50% agua            |
| - Hidroc. “Tk’s Skimmer                                                                                                      | PTC( Pil.API)               | 90% Hidroc.         |
| <b>Disposición Final</b>                                                                                                     |                             |                     |
| - <b>Transitoria:</b> en Pileta de Barros hasta completar 6000 m3.<br>( <i>Pileta Impermeabilizada con red superficial</i> ) |                             |                     |
| - <b>Definitiva:</b> en formación “disposal” ( prof.1700m) - Pozo Inyector de Efluentes con alto contenido de sólidos.       |                             |                     |

**Figura 7- Efluentes del Proceso**

Los efluentes se minimizan, optimizando los procesos, separando y recuperando la mayor cantidad posible de agua e hidrocarburo que retornan al proceso de PTAS y PTC respectivamente. Los efluentes resultantes se acumulan transitoriamente en una pileta impermeabilizada, cumpliendo con los procedimientos ambientales y finalmente se inyecta a formación disposal profunda.

En la *figura 8* se esquematiza la operación de disposición de efluentes:



### **Etapas de Puesta en marcha y Operación**

Es muy importante integrar a la discusión y finalmente al proyecto, definiciones previas de cómo debería ser la Puesta en Marcha y Operación.

Para ello se implementaron los siguientes puntos

- Confección de procedimientos operativos, instructivos de trabajo, manuales de proceso, procedimientos ambientales y de seguridad
- Análisis de las responsabilidades de los operarios, capacitación de aquellos directa e indirectamente involucrados
- Rutinas de control y monitoreos del sistema
- Metodología de evaluación de los registros diarios y análisis de los problemas
- Análisis de mejoras en la calidad de agua y otras operaciones influenciadas en el proceso de PTAS (reparación de pozos, operaciones de producción, etc.)
- Estudios y ensayos para la disminución efluentes y adecuada disposición final de los mismos

Finalmente se fijaron reuniones futuras del grupo para realizar evaluaciones e implementar una mejora continua de la operación (proceso, tratamiento, mantenimiento, etc.)

Los tratamientos químicos y monitoreos son:

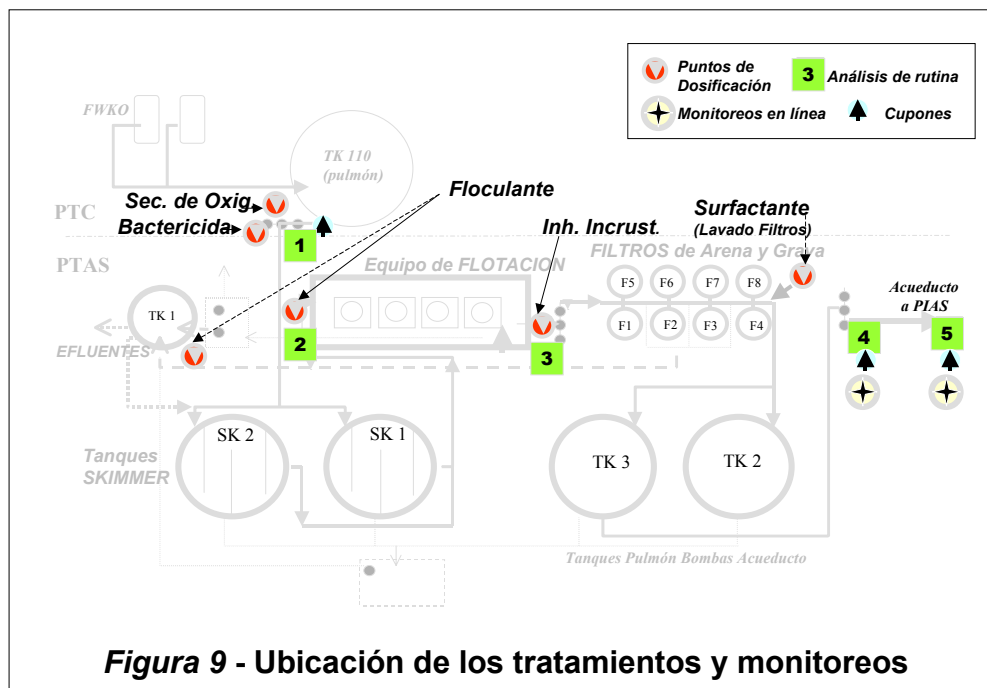
Al ingreso de la PTAS se realizan tratamientos para eliminar el oxígeno disuelto y mantener el control bacterial, dosificando Secuestrante de Oxígeno y Bactericida respectivamente. Se monitorea la concentración de oxígeno en agua, contaminación bacterial y *mpy* de corrosión.

En los tanques Skimmer se controla la concentración de hidrocarburo en agua de entrada y salida.

En el ingreso a la etapa de flotación se dosifica un producto codyudante de flotación-floculante para llevar al máximo la eficiencia del equipo. En la corriente de salida del equipo de flotación se dosifica una dosis preventiva de inhibidor de incrustación que mantiene la estabilidad de los carbonatos en el sistema y previene depósitos en los filtros de arena y grava aguas arriba. Se monitorea con cupones de incrustación para un control de depósitos. Se determinan concentraciones de hidrocarburo y sólidos totales a la entrada y salida del equipo de flotación.

En la etapa de filtración se controla el contenido de hidrocarburo y sólidos totales de salida de filtros, cuyos valores tienen que ser los especificados.

Los controles finales se realizan en la PIAS (planta de inyección de agua salada) y en los pozos inyectoros, determinando sólidos totales, *mpy* de corrosión, oxígeno disuelto y contaminación bacterial.



A pesar de las características del agua, hasta el momento no ha sido aplicada la inhibición por corrosión. Los estudios realizados a los tubings sin revestir verifican una corrosión controlada del tipo uniforme que proyecta a 8 años la vida de la cañería recuperada que se utilizó.

Las claves para minimizar la corrosión se basa en un estricto control de O<sub>2</sub>, control del crecimiento bacterial y eliminación de sólidos.

Se respetan los límites fijados. El control se hace con rutinas de laboratorio, comparando con mediciones continuas de equipos en línea, con la intención de seleccionar equipos que garanticen continuidad en la medición y evitar mediciones puntuales no representativas del período controlado.

(ver figura 9)

Los puntos de dosificación se encuentran todos en la PTAS.

- Secuestrante de O<sub>2</sub>
- Bactericida
- Floculante - Coadyudante de flotación
- Inh de Incrustación (prevención).
- Surfactante para lavado de Filtros
- (Floculante para concentrar efluentes)

Los puntos de monitoreo estan ubicados en PTAS, PIAS y Pozos Inyectores.

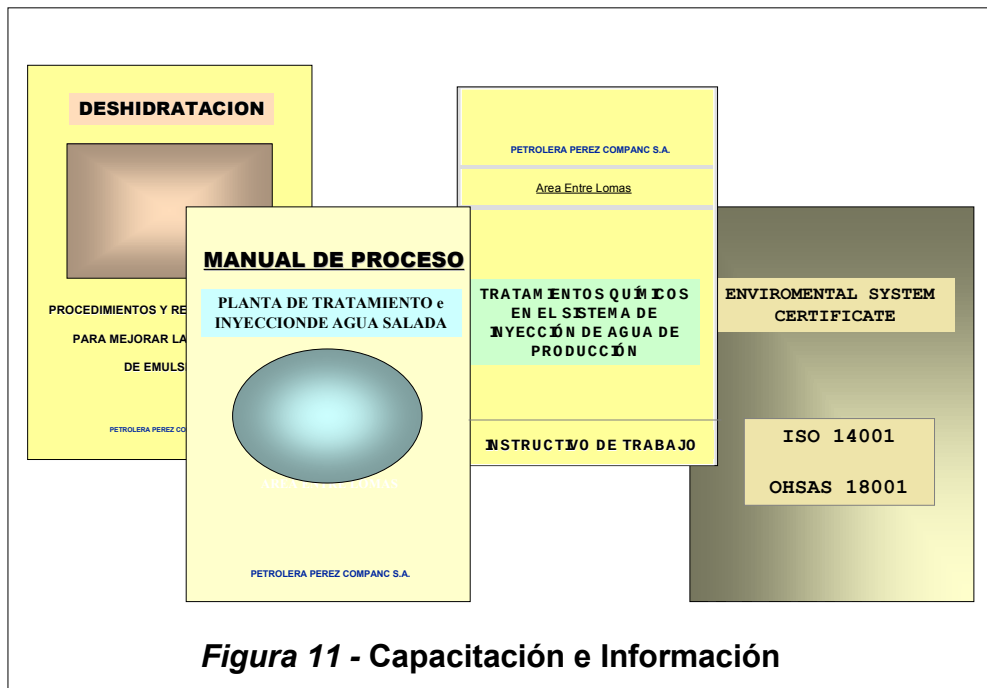
- Corrosión e incrustación, mediante cupones testigos en línea
- Oxígeno y corrosión = Corrosómetro (LPR - Galvánica) telesupervisión en línea de salida de PTAS.
- Sólidos en suspensión = Turbidímetro en línea a la salida de PTAS
- Corrosión = Corrosómetro en línea de PIAS (LPR- EPR -mpy)
- Intervenciones anuales de pozo sumidero para observar y analizar el estado la instalación

| <b>Control</b>    | <b>Tratamiento Químicos</b> | <b>Límites</b> | <b>Monitoreos Laborat. / "en línea"</b> |             |
|-------------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------------------|-------------|
| <b>Oxígeno</b>    | Seuestrante O <sub>2</sub>  | 0.020 ppm      | Chemet's                                | (LPR Galv)  |
| <b>Bacterias</b>  | Bactericida                 | BRS 1+/ BAT 3+ | API RP38                                | (BioProbe)  |
| <b>Incrustac.</b> | Inh. de Incrust.            | Presencia      | Cupones                                 | (DepCom)    |
| <b>Sólidos</b>    | Floculante                  | 2 - 4 ppm      | Membrana Filtrante                      | (Turbidim.) |
| <b>Corrosión</b>  | -----                       | 5 mpy          | Cupones -Tbg                            | (LPR mpy)   |

**Figura 10 - Tratamientos y Monitoreos**

## Capacitación

Todo personal propio y contratado recibe continuamente capacitación operativa y de aplicación de procedimientos de trabajo que influyen directa o indirectamente en mantener la eficiencia del sistema. Se observa el cumplimiento de la política ambiental de la compañía y se cumple con la procedimientos de gestión ambiental y de seguridad. (ver figura 11)



## CONCLUSIONES

Podemos afirmar que nuestra experiencia fue muy positiva aplicando esta metodología de trabajo y nos permite continuar aplicándola en todos los proyectos o resolución de problemas.

Sintetizamos los beneficios en estas conclusiones.

La metodología aplicada:

- ◆ Involucra a todos los sectores, con los resultados ya mencionados
- ◆ Analiza los detalles desde el principio del proyecto
- ◆ Facilita el desarrollo del proyecto, finalizando el mismo en menor tiempo
- ◆ Evalúa la operación desde la primera etapa, permitiendo una mejora continua
- ◆ Agiliza la toma de decisiones ante problemas o fallas
- ◆ Permite adquirir experiencia para aplicar similar metodología en otros proyectos
- ◆ Mejora directa o indirectamente la eficiencia de explotación del Yacimiento

## **BIBILOGRAFIA**

Dr. Charles C. Patton - *Applied Water Technology* - 1995

Exxon Chemical Co. - *Oil Field Chemicals - Technical Skills* -1984

James Landrum - *Designing for Corrosion Control* - 1989

C.Ebner - *Diseño y Gestión de los Procesos y Tratamientos Químicos del Agua para Inyección* - Documento 1992.