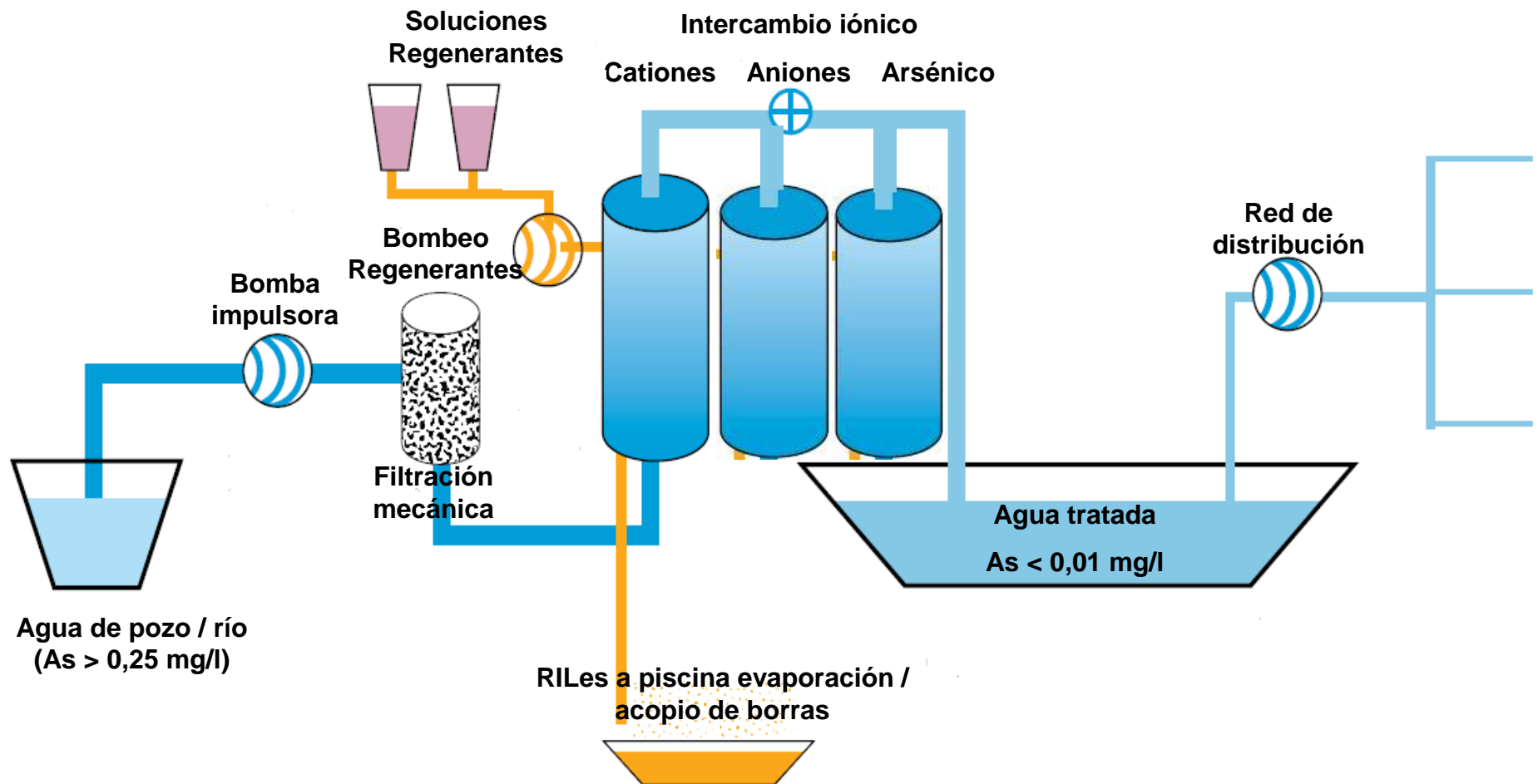
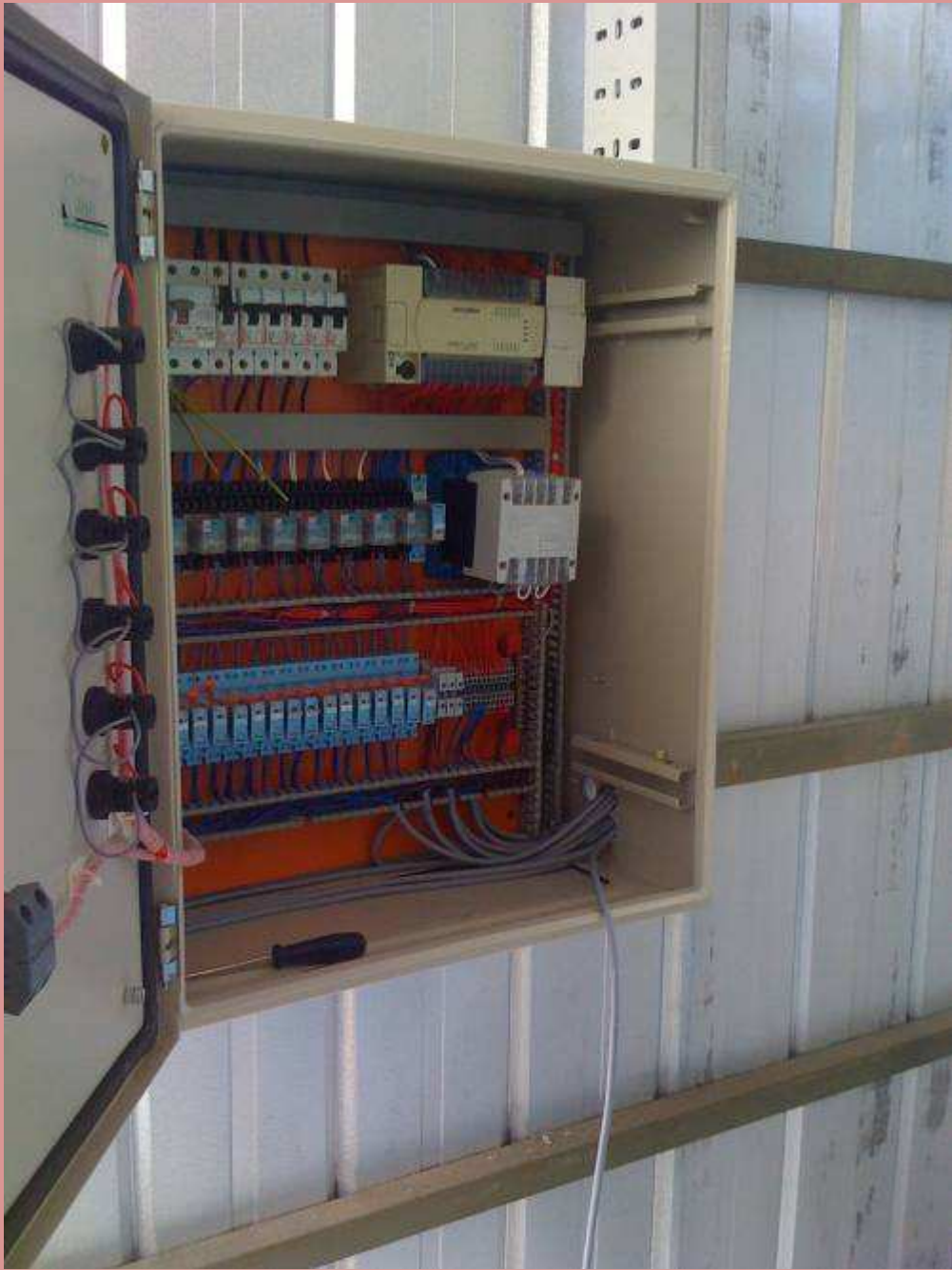


Planta Piloto (esquema)







Descripción de componentes y Funciones (1)

- Filtración mecánica: Elimina Sólidos Suspendidos.
- Columnas de Intercambio:
 - Catiónica y Aniónica: Reducción de Sólidos Disueltos Totales (Dureza Total, Sulfatos, Cloruros).
 - Arsénico: Retención específica de As^{+3} y As^{+5}
- Soluciones regenerantes:
 - $NaOH \rightarrow$ Regeneración de Columna aniónica.
 - $H_2SO_4 \rightarrow$ Regeneración de Columna catiónica.
 - $NaOH + NaCl \rightarrow$ Regeneración de Columna As.
- Piscina Evaporación: Reducción de RILes a RISes.

Descripción de componentes y Funciones (2)

- Grupo electrógeno: Provee energía para operación de la planta piloto (bombeo, operación automática).
- Tablero de control automático: Controla las operaciones del equipo durante los procesos de producción de agua tratada y regeneración de cada una de las columnas de intercambio.

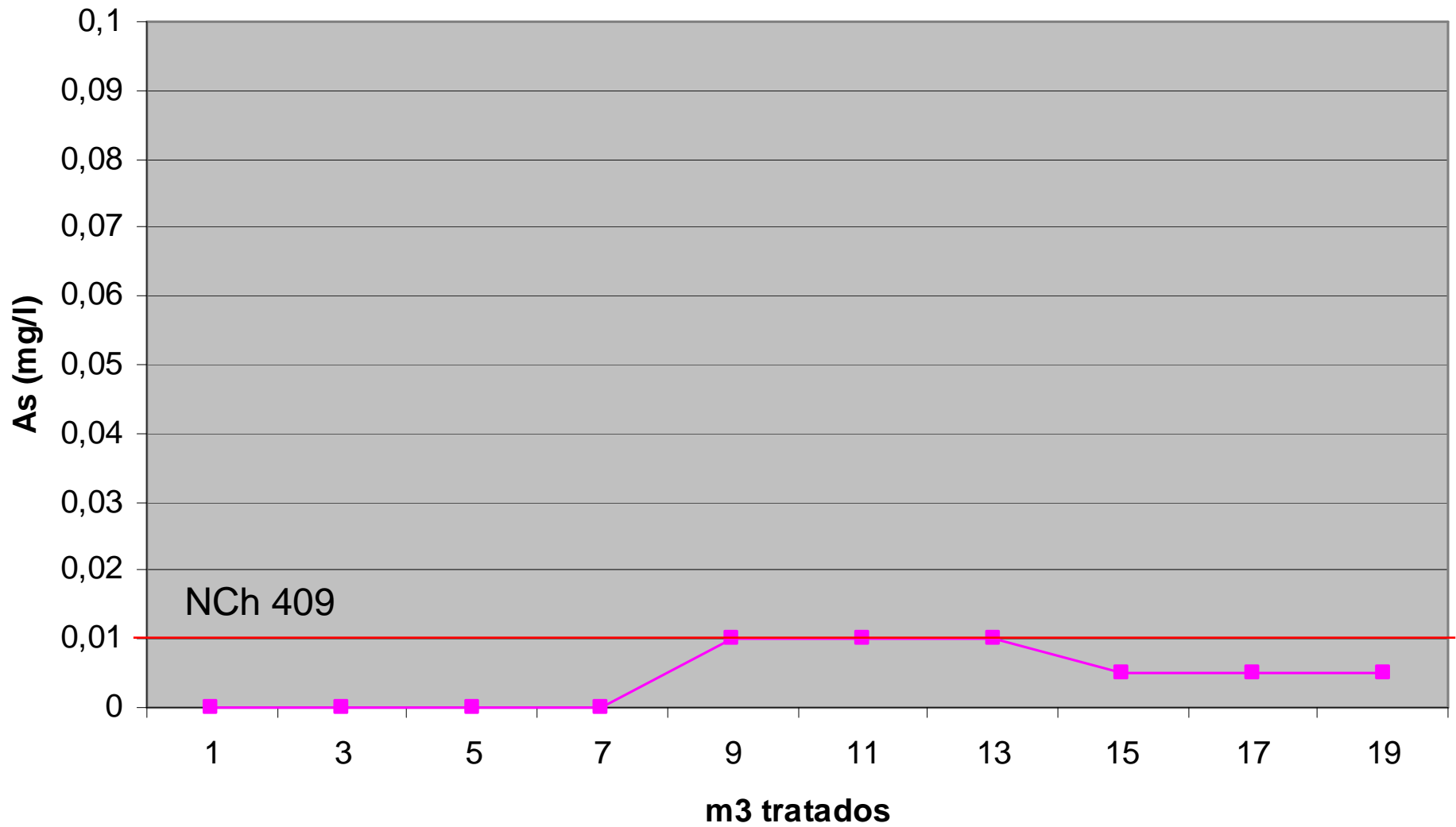
Capacidad Instalada en planta piloto

- As: 100 litros de resina específica. Capaces de tratar 500 m³ de agua por ciclo entre regeneraciones.
- Catiónica: 100 litros de resina Catiónica que pueden tratar 30 m³ de agua.
- Aniónica: 100 litros de resina Aniónica. Capacidad para tratar 5 m³ de agua

Resina Específica para As

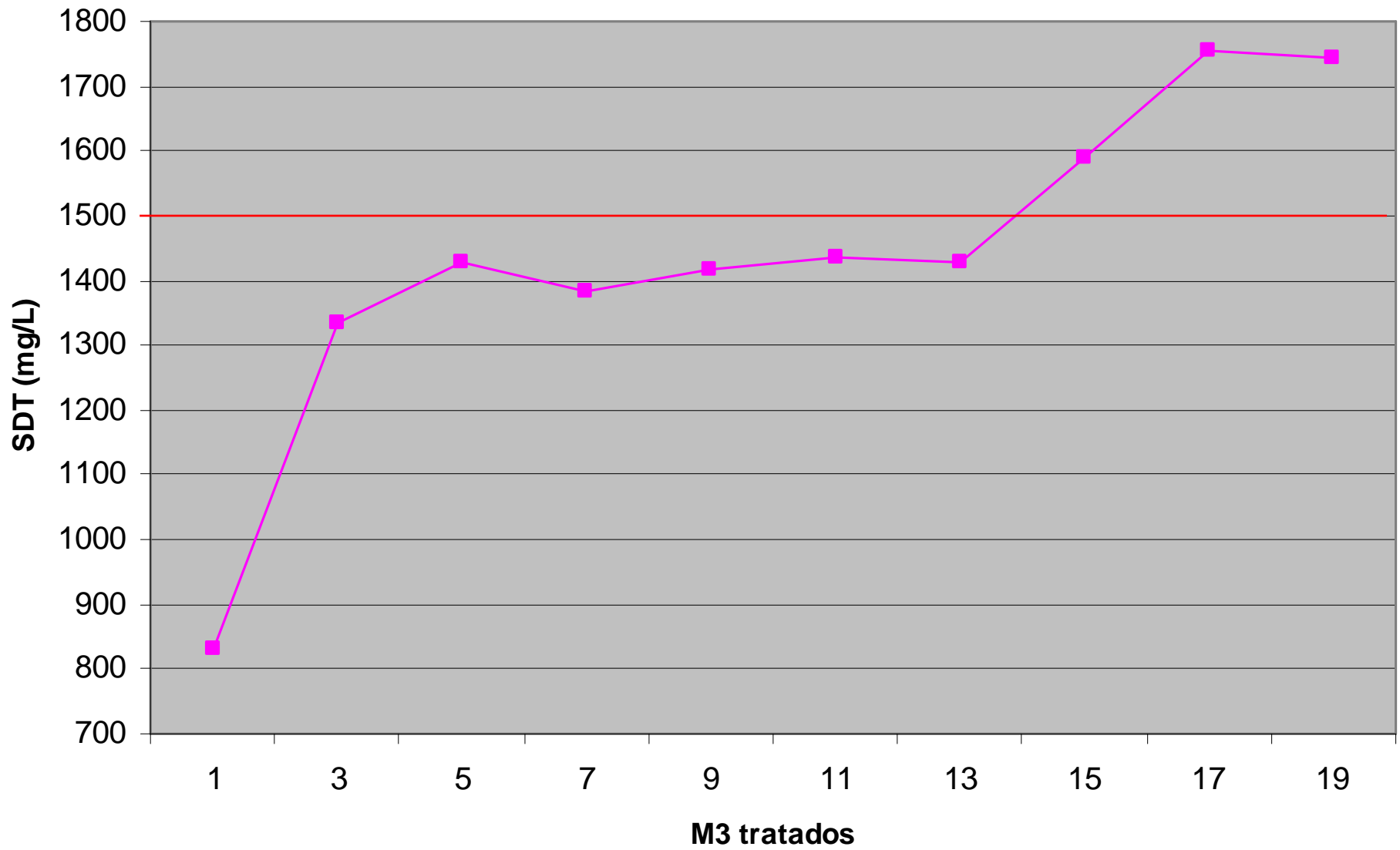
- Grupos funcionales $\text{Fe}(\text{OH})_3$
- Alta capacidad (0,5 a 4 gramos de As/litro)
- Reutilizable indefinidamente (vida útil 3 a 5 años)
- Regeración con NaOH y NaCl.
- Principal ventaja respecto a absorbentes:
 - Menor costo de operación (no requiere recambio completo cuando se satura, solo se regenera)
 - Los RILes generados se pueden evaporar para la Generación de un volumen pequeño de residuo sólido. Alternativamente, los RILes se pueden tratar para precipitar el As y reutilizar la solución regenerante.

As (mg/l)



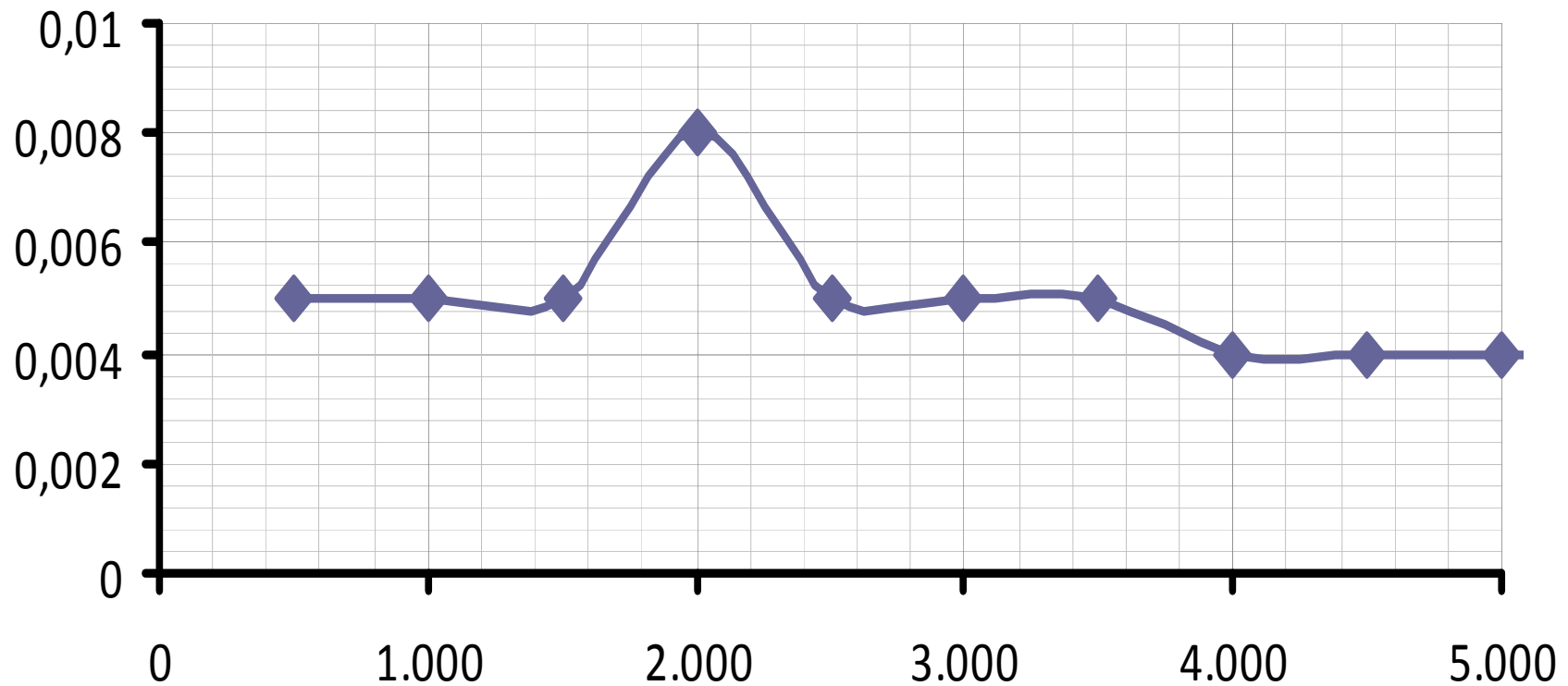
As de agua de entrada en Camarones: 0,5 mg/l

SDT (mg/L)

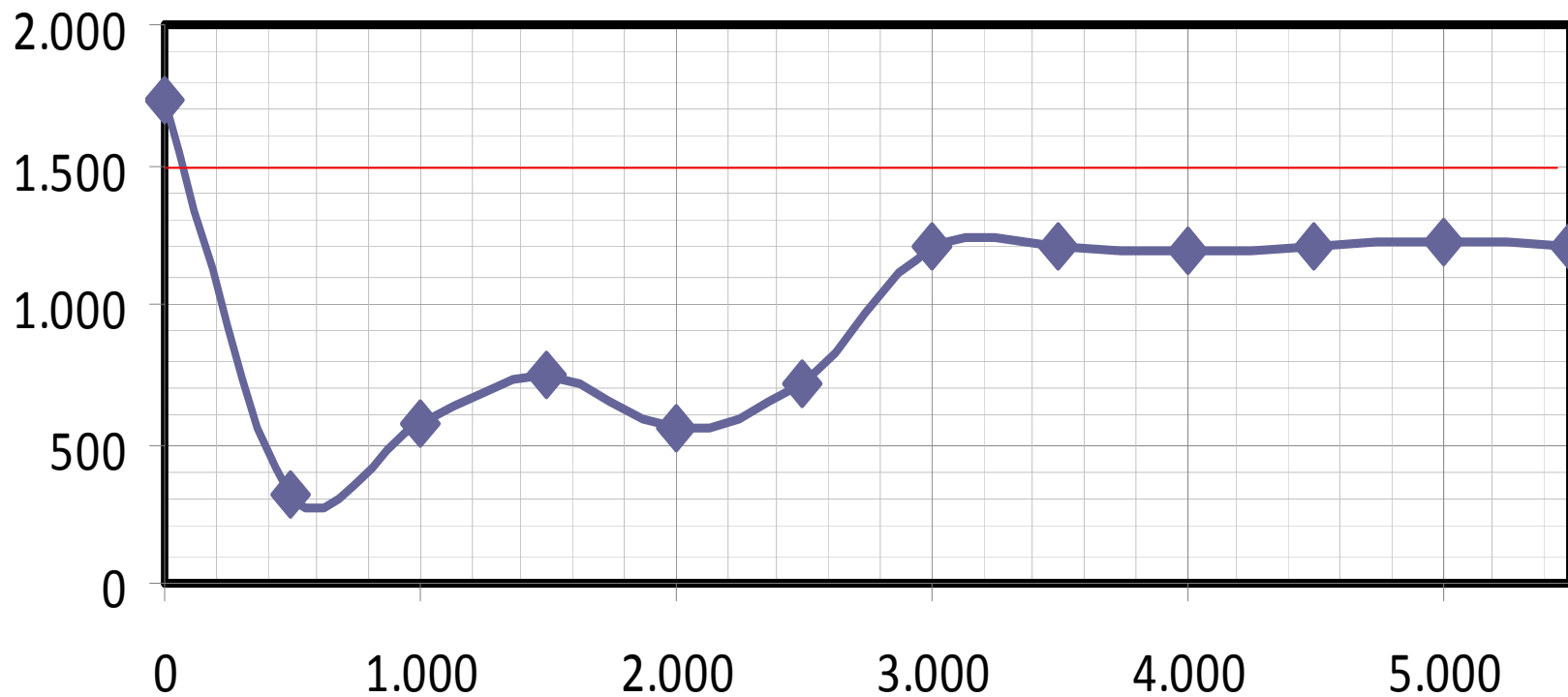


Agua de entrada en Camarones: 1913 mg /L SDT)

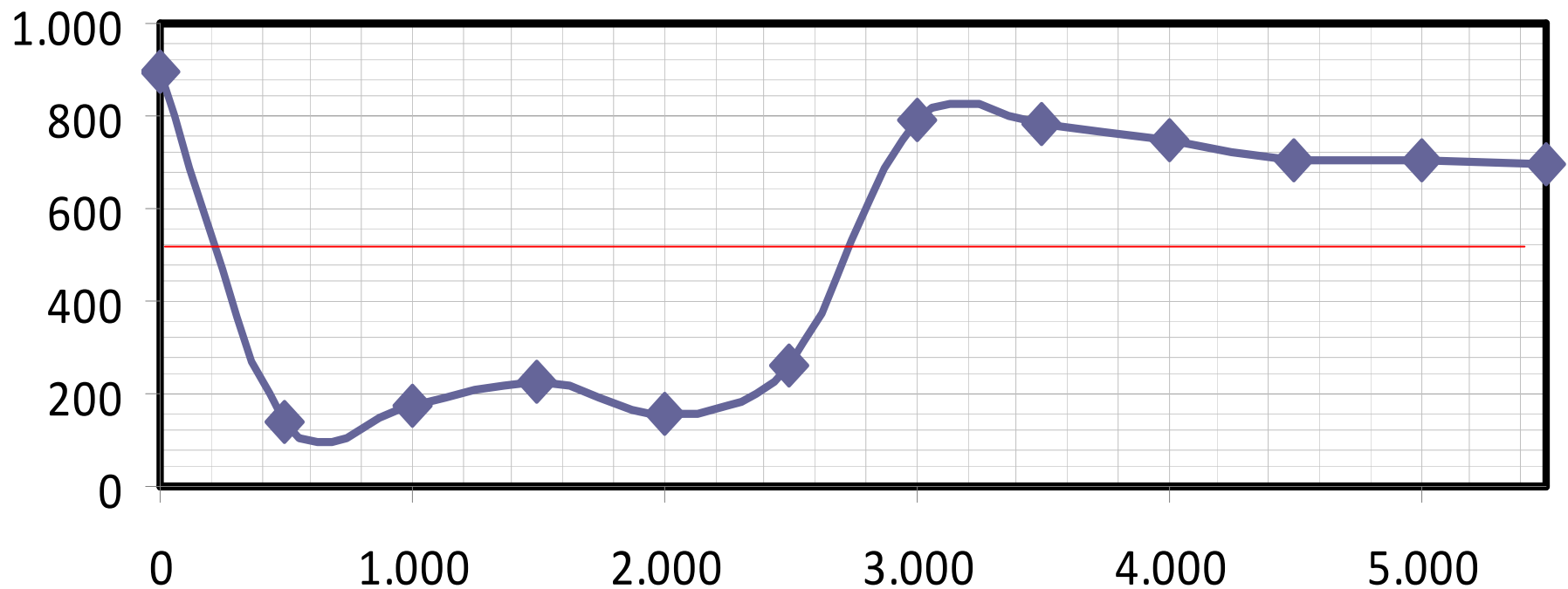
As mg/L en función del volumen de agua tratada (L) luego de la regeneración de la resina adsorbente del Arsénico.



SDT mg/L en función del agua tratada (L) luego de la regeneración de las resinas adsorbentes catiónica y aniónica



Cl- mg/L en función del agua tratada (L) luego de la regeneración de las resinas adsorbentes catiónica y aniónica.



Costo Variable de Tratamiento As

- Columna As se regenera cada 500 m³ tratados:
 - Regeneración: 6 kg NaOH + 9 Kg NaCl (\$490/kg de NaOH + \$200 Kg/ NaCl) (\$9,48/m³)
 - 2000 litros de agua libre de As.
 - Gasto de energía durante el proceso de tratamiento y regeneración: 0,35 Kw/hora.
 - Caudal de planta 1 m³/hora
 - 500 horas de tratamiento + 3 horas de regeneración (\$42,5/m³ a tarifa de red) (planta requiere 1 litro/hora de diesel para operación)
 - Costo variable cercano a \$53/m³ en planta piloto de camaroners

Parámetro	Osmosis reversa	Absorbentes	Intercambio Iónico
Eficiencia de remoción As	95% As +5 en membranas para aguas salobres (0,5 ppm → 0,025 ppm) Requiere doble pasada. 80% As +3.	100%	100%
Volumen de residuo líquido	En el mejor de los casos el 25% del volumen tratado. Normalmente 30 a 40%	0%	2%
Reutilización del medio	Vida útil cartucho hasta 5 años (menos con aguas duras, normalmente 3 años)	Se satura según la cantidad de As presente en el agua y debe ser descartado como residuo peligroso.	Reutilizable (3 a 5 años normalmente)
Especificidad (puede ser utilizado cuando el problema es sólo As)	Nula	Alta	Alta
Sensibilidad de la remoción al pH extremo (fuera del rango 4-10)	Baja	alta	Baja
Costo de inversión por capacidad instalada (\$ / m3 tratado/día) (valores comerciales)	\$750.000/m3 (aguas salobres) \$2.600.000/m3 (agua de mar)	US\$ 4- US\$25 litro de medio absorbente. Capacidad altamente variable	\$1.500.000/m3
Costo variable de operación	\$ 90 a \$ 250 / m3 (costo energía)	Depende de contenido de As. Del agua. En concentraciones bajas es económico. En concentraciones altas (Camarones) se transforma en un alto costo variable por la necesidad de recambio completo del medio al saturarse)	\$9,43/m3 (para Camarones) costo de regenerantes. \$42,5/m3 (costo de energía eléctrica asumiendo conexión a red)

Residuos Líquidos de la Planta (1)

- Ciclo de regeneración As: 1000 litros de salmuera - NaOH con aprox. 250 gramos de As. + 1000 litros de agua de enjuague.
- Ciclo de regeneración Catiónica: 300 litros de ácido diluido + 300 litros de agua de enjuague.
- Ciclo de regeneración aniónico: 300 litros de solución cáustica diluida + 300 litros de agua de enjuague.
- Pileta de evaporación permite recolectar el total de las sales removidas (formación de costra salina)



Residuos Líquidos de la Planta (2)

- Residuo Arsenical: Recolección periódica de costra salina en pileta de evaporación.
 - Alternativas: Añadir estanque adicional para coagulación del Arsénico concentrado con FeCl_3 . Recuperación de lodo concentrado y reciclado de la solución alcalina.
 - Acopio temporal de residuo hasta juntar cantidad suficiente para despacho a vertedero autorizado (1 vez al mes se recuperan 250 gramos).
- Poner las cosas en perspectiva: El valle de Camarones es una zona naturalmente abundante: Suelo contiene entre 150 y 250 ppm de As, de las cuales el As disponible es del orden del 10% y el soluble del orden de 1%.

Conclusiones

- Planta piloto demuestra factibilidad técnica y económica de remover eficientemente As de aguas superficiales y subterráneas de la cuenca del río camarones. Costo variable por m³ tratado sin Arsénico es \$88 /m³, considerando generación de electricidad.
- Se requiere adecuar la capacidad de tratamiento para remoción de Aniones (se recomienda aumentar a 600 litros y cambiar tipo de resina para mejorar retención de Cl⁻)