

CASO PRACTICO DE MITIGACIÓN DE OLORES EN EL SISTEMA DE SANEAMIENTO MALDONADO – PUNTA DEL ESTE

Acciones simultáneas de mitigación de corrosión por H₂S

Lucía Campanela (*)

CIEMSA. Ingeniera Civil.

Alvaro Irigoyen

CIEMSA. Ingeniero Industrial Mecánico.

Tatiana Presentado

CIEMSA. Estudiante de Ingeniería Química.

Esteban Pérez

CSI Ingenieros SA. Ingeniero Civil Especialidad Hidráulica Ambiental

Hugo Trías

OSE UGD. Ingeniero Civil Especialidad Hidráulica Ambiental

José María Algorta

OSE UGD. Ingeniero Civil Especialidad Estructural

Soriano 1180, Montevideo. CP 11100. Tel 29020675. Mail: lcampanela@ciemsa.com.uy

RESUMEN

Entre los años 2010 y 2013 se construyeron las obras de conducción, tratamiento y disposición final del nuevo sistema de saneamiento de Maldonado y Punta del Este. A fines del 2012 se comenzó con la operación de las estaciones de bombeo y puesta en marcha de la planta de tratamiento. Este fue un proceso de arranque de instalaciones en simultáneo y buena parte del sistema durante la temporada estival (época de mayor afluencia de público a las playas del balneario).

En este período de temporada estival, se detectó presencia de olores en algunas estaciones de bombeo y registros de la red de colectores. Estos olores se debieron principalmente a las altas concentraciones de gas sulfhídrico generado en las redes de saneamiento.

Para mitigar estos olores se realizaron varias acciones, definidas y coordinadas en conjunto OSE, UGD y CIEMSA (operador del sistema). Todas estas acciones se fueron realizando en forma progresiva, probando su efectividad a medida que se implementaban, y realizando ajustes para mejorar los resultados obtenidos. Cabe señalar que con las medidas implementadas en la primera temporada se logró mejorar la situación, aunque no se llegó a eliminar el problema de olores definitivamente.

Por esta razón, se continuó trabajando en este tema, se analizaron varias alternativas y se implementaron nuevas acciones para la temporada 2013-2014. Estas acciones resultaron efectivas y los problemas de olores disminuyeron significativamente. Además, se trabajó en la mejora del ambiente corrosivo para los elementos eléctricos y electrónicos de las plantas.

Con este trabajo se pretende plasmar la experiencia adquirida, las soluciones implementadas y los resultados obtenidos en la mitigación de olores del sistema. Se entiende que este es un tema crítico a la hora de la puesta en marcha y operación de un sistema, con alto impacto en la población.

Palabras Claves: ácido sulfhídrico, mitigación de olores.

INTRODUCCIÓN

El nuevo sistema de saneamiento de Maldonado y Punta del Este consta de 7 estaciones de bombeo (EB), 1 planta de tratamiento (ETE) y 1 emisario subacuático.

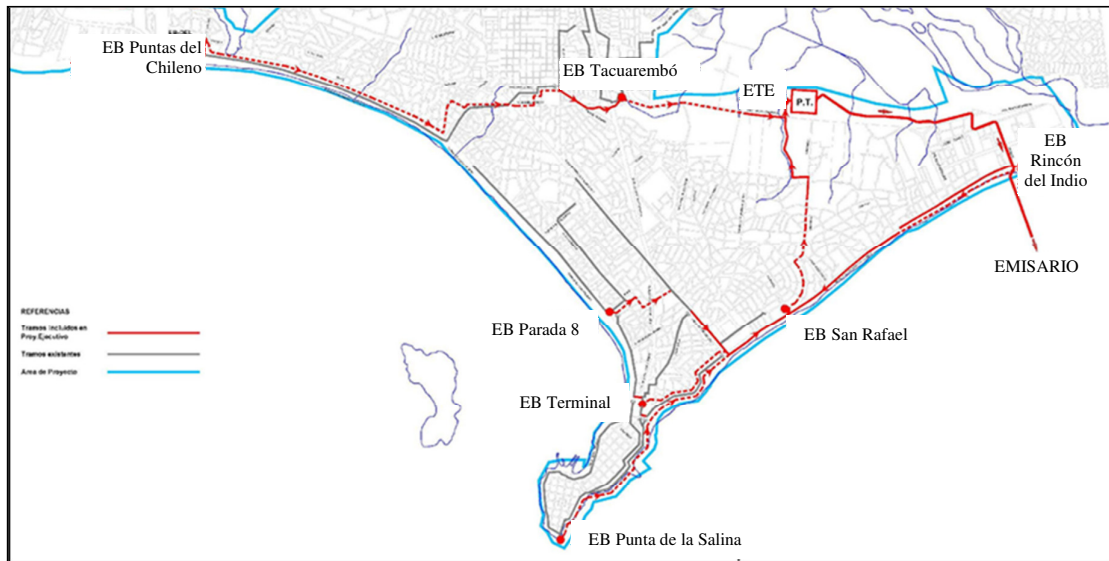


Figura 1. Esquema del sistema de saneamiento para Maldonado y Punta del Este

La red de colectores es de tipo separativa, pero se registra intrusión pluvial.
 Las estaciones de bombeo se subdividen en dos tipos:

- ❑ Zona Costera: Parada 8, Terminal, Punta de la Salina. San Rafael y Rincón del Indio. Éstas tienen su caudal nominal previsto para la temporada estival.
- ❑ Zona de Maldonado: Puntas del Chileno y Tacuarembó, cuyos caudales de operación se mantienen más estables a lo largo del año (por recibir las áreas donde se radica la población permanente de la zona).

Todas las estaciones cuentan con una etapa de desbaste mediante rejillas mecánicas de 25 mm de abertura. Las estaciones son del tipo de pozo húmedo, salvo la estación Tacuarembó que tiene bombas sumergibles instaladas en pozo seco.

Inicialmente todas las estaciones contaban con un sistema de extracción e inyección de aire y un sistema de control de olores, mediante la pulverización de un agente neutralizador de olores para los gases extraídos de los locales.

La ETE recibe los efluentes bombeados desde la EB San Rafael y la EB Tacuarembó, además de una pequeña cuenca propia que escurre por gravedad. Sus principales sistemas componentes son:

- ❑ Estación de Bombeo de entrada y Depósito de recepción de barométricas
- ❑ Etapa de Pretratamiento del efluente, mediante tamices y desarenadores
- ❑ Etapa de Tratamiento Físicoquímico para el efluente: coagulación, floculación y sedimentación
- ❑ Etapa de Desinfección final del efluente, por medio de equipos de desinfección UV
- ❑ Sistema de Tratamiento de Lodos, compuesto por procesos de espesado, digestión anaerobia, y deshidratación mecánica con centrifugas.
- ❑ Sistema de Tratamiento de Olores por biofiltros

Las obras se ejecutaron entre los años 2010 y 2013. Hacia fines de 2012 se había completado la construcción de las EB Parada 8, Terminal, Punta de la Salina y San Rafael, así como parte de la ETE y el emisario subacuático. El arranque del sistema se realizó en tres etapas: diciembre de 2012 puesta en funcionamiento de las EB que estaban finalizadas, parte del sistema de la ETE, y el emisario subacuático; marzo de 2013 comienzo de operación de la ETE; diciembre de 2013 puesta en funcionamiento de las EB restantes.

PROBLEMAS QUE SE PRESENTARON Y ACCIONES REALIZADAS

Temporada estival 2012-2013

En el período de temporada estival 2012 - 2013, que coincidió con la puesta en marcha de las estaciones de bombeo de la zona costera, se detectó presencia de olores en algunas de las estaciones y en registros de la red de colectores.

Los puntos donde se registraron olores fueron:

- Cámara de descarga de las líneas de impulsión de las estaciones Punta de la Salina y Terminal, ubicada en la Parada 5 de la Playa Brava.
- Estación de bombeo San Rafael y su entorno.
- Cámara de descarga de la línea de impulsión de la estación San Rafael en Avenida San Pablo a la altura del Club de Golf.
- Cámara del emisario terrestre por calle Rubens.
- Cámara final del emisario terrestre en la Parada 30 de Playa Brava.

Cuando se detectaron estos problemas de olores, se tomaron las siguientes acciones inmediatas:

- Modificación en la operación de estaciones con el objetivo de minimizar los arranques y paradas, y así reducir la generación de olores en las cámaras de descarga de las impulsiones.
- Construcción e instalación de filtros de carbón activado de diseño propio en la cámara final del emisario terrestre en la Parada 30 de Playa Brava.
- Ensayos a nivel de laboratorio de dosificación de diversos oxidantes para mitigación de olores.
- Implementación de dosificación de cloruro férrico en las EB San Rafael, Salina y Terminal con una instalación provisoria. En esta primera instancia se dosificaron dosis de 3 mg/L.
- Consulta con especialista argentino en tratamiento de olores.

Además, como medida de control se implementó un sistema de monitoreo, fundamental para el seguimiento del sistema e introducción de ajustes y acciones correctivas. El principal método de control es el olfato, a este control se la agregó el monitoreo con sensores de H₂S. Estos sensores portátiles tienen un rango de detección de 0,5 ppm a 100 ppm de H₂S ya que son para seguridad personal, el olor se detecta con concentraciones de H₂S en ppb. Sin embargo, son muy útiles para determinar el agotamiento del carbón activado instalado en las camaras y para evaluar las eficiencias de las medidas implementadas.

Se diseño un circuito de recorrida para el personal de operación con una frecuencia diaria. Los puntos definidos de control consisten en los más críticos identificados para el sistema, donde se registraron problemas de olores. En cada punto el operador registra el valor de H₂S medido con el sensor portatil mencionado, además se realiza una evaluación cualitativa de si se detecta presencia de olor o no. A este registro se incorporan las quejas de vecinos en caso de generarse.

A continuación se presentan los valores registrados de las mediciones de H₂S realizadas durante la temporada estival 2012-2013 en algunos de los puntos donde se registraron olores. El equipo de

medición utilizado fue un Eagle 2 (RKI Instruments), cuyo rango de detección es de 0 a 100 ppm, con una precisión de 0,5 ppm.

Además de registrarse olores, en algunos puntos se registraron concentraciones de H₂S muy elevadas que superaron los límites de exposición admitidos para la seguridad del personal.

Lugar de medición	Concentración H ₂ S (ppm)		
	Máxima	Media	Mínima
Ventilación cámara Parada 5 de la Brava	>100	80	20
Estación de Bombeo San Rafael	45,5	2,0	<0,5
Cámara del emisario terrestre calle Rubens	>100	>100	10

Tabla 1. Resumen de mediciones de H₂S realizadas en la temporada estival 2012-2013

Con las acciones implementadas durante la temporada estival 2012 – 2013, se logró mejorar la situación, aunque no se llegó a eliminar el problema de olores definitivamente. Por esta razón, se continuó trabajando en este tema, se analizaron varias alternativas y se implementaron nuevas acciones.

Temporada estival 2013-2014

Antes de la temporada estival 2013 - 2014, se tomaron nuevas acciones, tomando en cuenta la experiencia adquirida en la temporada anterior y las recomendaciones realizadas por los especialistas.

Las acciones realizadas fueron las siguientes:

- Construcción e instalación de filtros de carbón activado de diseño propio en las cámaras especiales del sistema:
 - Cámara de descarga de las líneas de impulsión de las estaciones Punta de la Salina y Terminal, ubicada en la Parada 5 de la Playa Brava.
 - Cámara de descarga de la línea de impulsión de la estación San Rafael en Avenida San Pablo a la altura del Club de Golf.
 - Cámara del emisario terrestre por calle Rubens.
 - Cámara final del emisario terrestre en la Parada 30 de Playa Brava.
 - Cámara de descarga de la línea de impulsión de la estación Tacuarembó en Av. Aparicio Saravia, previendo el arranque de la EB Tacuarembó.

- Implementación de dosificación automática de cloruro férrico en las EB Parada 8, Salina y Terminal con una instalación definitiva. En esta instancia se dosificaron dosis de 10 mg/L. Con esta dosificación se buscó minimizar la generación de olores en la cámara de descargas de las impulsiones de estas estaciones y en la EB San Rafael.

A fines de enero de 2014 se realizó la adquisición e instalación de filtros de carbón activado de proveedor extranjero para las para algunas cámaras especiales del sistema:

- Cámara de descarga de la línea de impulsión de la estación San Rafael en Avenida San Pablo a la altura del Club de Golf.
- Cámara de descarga de la línea de impulsión de la estación Tacuarembó en Av. Aparicio Saravia.

- Cámara del emisario terrestre por calle Rubens.

Estos filtros fueron diseñados por el proveedor, considerando las concentraciones de H₂S registradas en estas cámaras y el caudal de aire de las ventilaciones. Los filtros contienen dos tipos de medios filtrantes específicos: "Odorcarb" (combinación de carbón activado, alúmina activada y otros aglutinantes) y "Odormix" especialmente diseñado para reemover múltiples compuestos. El 50% se describe como carbón activado virgen, disponible para la adsorción física de compuestos de mediano y alto peso molecular. Y el otro 50% se encuentra completamente impregnado con permanganato de sodio permitiendo la remoción de gases por quimisorción (adsorción, absorción) y oxidación.

A pesar de las medidas implementadas en el período de temporada estival 2013 – 2014, que coincidió con la puesta en marcha de las estaciones de bombeo de la zona de Maldonado, se detectó presencia de olores en:

- Estación de bombeo Chileno
- Estación de bombeo Tacuarembó y sus alrededores

A continuación se presentan los valores registrados de las mediciones de H₂S realizadas durante la temporada estival 2013-2014 en los puntos críticos del sistema.

Lugar de medición	Concentración H ₂ S (ppm)		
	Máxima	Media	Mínima
Estación de Bombeo San Rafael	<0,5	<0,5	<0,5
Estación de Bombeo Tacuarembó	100	11,5	<0,5
Filtro de cámara San Pablo	19	1,3	<0,5
Filtro de cámara Parada 31 de la Brava	1	<0,5	<0,5
Filtro cámara del emisario terrestre calle Rubens	21	1,1	<0,5
Ventilación cámara Parada 5 de la Brava	>100	13,7	<0,5
Filtro de cámara de Aparicio Saravia	50	2,77	<0,5

Tabla 2. Resumen de mediciones de H₂S realizadas en la temporada estival 2013-2014

De estas mediciones realizadas y del monitoreo implementado se destacan los siguientes comentarios:

- Las medidas implementadas para minimizar la generación de olores en la EB San Rafael, fueron efectivas. No se detectó olor durante este período.
- En varias oportunidades se detectó olor en la EB Tacuarembó.
- En las oportunidades que se registraron concentraciones de H₂S en los filtros de las cámaras especiales se procedió a cambiar el carbón de los filtros, inmediatamente se dejaron de registrar olores y valores de H₂S en la salida de los mismos. Se destaca que luego de instalados los filtros del proveedor extranjero no se registraron concentraciones de H₂S ni olor.
- En la ventilación de la cámara de Parada 5 de la Brava se detectó H₂S en 8 oportunidades. Después de instalar el filtro de carbón activado no se detectó H₂S en la ventilación, ni olor.

Temporada estival 2014-2015

En Noviembre de 2014 se realizó la adquisición e instalación de filtros de carbón activado de proveedor extranjero en las EB San Rafael, Chileno, Tacuarembó. Estos filtros se instalaron dentro de las estaciones, con la succión conectada al sistema de succión de aire ya instalada y el aire filtrado se descarga dentro de la misma estación.

Estos filtros fueron diseñados por el proveedor, los tres filtros contienen dos tipos de medios filtrantes específicos: "Odorcarb y Odormix". El Odorcarb presenta una alta eficiencia de remoción de H₂S y el Odormix una alta eficiencia de remoción de mercaptanos, entre otros.

En el período de temporada estival 2014 – 2015, que coincidió con la conexión de la nueva cuenca de saneamiento de la Av. Córdoba, se presentaron problemas de olores en los alrededores de la nueva zona saneada. Esta red se conectó a una cámara ubicada aguas arriba de la estación de bombeo Tacuarembó y aguas abajo de la descarga de la impulsión de la estación Chileno.

Para mitigar estos problemas se realizaron las siguientes acciones:

- Construcción e instalación de filtro de carbón activado de diseño propio en la cámara rotonda Tacuarembó.
- Sellado de cámaras e instalación de sifón desconector en cámara especial.

A continuación se presentan los valores registrados de las mediciones de H₂S realizadas durante la temporada estival 2014-2015 en los puntos críticos del sistema.

Lugar de medición	Concentración H ₂ S (ppm)		
	Máxima	Media	Mínima
Estación de Bombeo San Rafael	<0,5	<0,5	<0,5
Estación de Bombeo Tacuarembó	<0,5	<0,5	<0,5
Filtro de cámara San Pablo	<0,5	<0,5	<0,5
Filtro de cámara Parada 31 de la Brava	<0,5	<0,5	<0,5
Filtro cámara del emisario terrestre calle Rubens	13	<0,5	<0,5
Ventilación cámara Parada 5 de la Brava	<0,5	<0,5	<0,5
Filtro de cámara de Aparicio Saravia	<0,5	<0,5	<0,5
Filtro rotonda de Tacuarembó	4,5	<0,5	<0,5

Tabla 3. Resumen de mediciones de H₂S realizadas en la temporada estival 2014-2015

De estas mediciones realizadas y del monitoreo implementado se destacan las siguientes conclusiones:

- Se observa una mejora significativa con respecto a las mediciones de las temporadas anteriores.
- En las oportunidades que se registraron concentraciones de H₂S en los filtros de las cámaras especiales se procedió a cambiar el carbón o los medios.
- Luego de implementar las diferentes acciones ya mencionadas en forma progresiva, se logró controlar completamente todos los puntos de generación de olores hasta el momento detectados del sistema.

- ❑ Durante esta temporada no se registraron denuncias de los vecinos por problemas de olores en el sistema.

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ACTUAL DE TRATAMIENTO DE OLORES DE LA ETE

La Planta de Tratamiento de Efluentes cuenta con dos sistemas de tratamiento de olores por medio de Biofiltros:

- ❑ El Sistema OESTE: Capta el aire de la estación de bombeo de la ETE.
- ❑ El Sistema ESTE: Capta el aire de las diferentes unidades de tratamiento.

Estos sistemas se pusieron en marcha en la temporada estival 2013-2014 y se encuentra operando con eficiencias esperadas de acuerdo al proyecto. Además, la planta cuenta con filtros de carbón activado como respaldo de estos sistemas. No ha sido necesario utilizar estos filtros.

Estos dos sistemas fueron diseñados por el proveedor para:

- ❑ Concentración de H₂S al ingreso:
 - Promedio: 20 ppm
 - Pico: 50 ppm
- ❑ Eficiencia de remoción: 99%

Los valores registrados del monitoreo realizado a estos sistemas durante la última temporada estival son los siguientes:

- ❑ Sistema OESTE:
 - Concentración de H₂S al ingreso:
 - Promedio: 14 ppm
 - Pico: 19 ppm
 - Eficiencia de remoción: >80%
- ❑ Sistema ESTE:
 - Concentración de H₂S al ingreso:
 - Promedio: 41 ppm
 - Pico: 54 ppm
 - Eficiencia de remoción: >98%

A pesar de la eficiencia alcanzada con este tratamiento durante la operación se han detectado algunas zonas de la planta con presencia de olores y que no cuentan la captación de aire necesaria. Actualmente se está trabajando en estos puntos para mitigar estos olores.

Por su parte, OSE instaló una estación portátil de medición continua, de inmisión de TRS (compuestos de azufre reducido total), ubicada a 600 metros de la Planta en la dirección de vientos predominantes. Las mediciones registradas en ese punto, indican que la calidad de aire se encuentra dentro de los valores recomendados por la Propuesta de Estándares de Calidad de Aire del Grupo Gesta Aire. Cumpliéndose también en ese punto, el requisito respecto a inmisión de TRS, de la AAP de la PTAR del 26/01/10.

RESULTADOS OBTENIDOS Y CONTROLES IMPLEMENTADOS

Los resultados obtenidos con las acciones implementadas son positivos. Como ya se presentó se obtuvieron valores de concentraciones de H₂S aceptables en todos los puntos evaluados.

En cuanto a la ETE, aún se está trabajando para mitigar los impactos negativos generados.

A partir de esto se cuenta con una metodología de control y monitoreo ya documentada e implementada en el sistema de Estaciones y conducción.

Durante la temporada estival se realiza el monitoreo diario de los puntos críticos del sistema, de todas las estaciones de bombeo y de los diferentes puntos de la ETE. En este monitoreo se chequean las instalaciones de control de olores, se realizan las mediciones correspondientes y la evaluación cualitativa de si se detecta presencia de olor o no.

Cuando finaliza el período de altas temperaturas, la frecuencia de este monitoreo se baja a 1 vez por semana.

Control del cambio de carbón activado

Para determinar cuándo es necesario realizar el cambio del carbón activado de los filtros se realiza el siguiente procedimiento:

- ❑ *Filtros instalados en las cámaras especiales:* El carbón de estos filtros se cambia antes de comenzar la época de altas temperaturas y luego, se cambia siempre que se detecte olor o se detecten concentraciones de H₂S en la salida de los mismo. La frecuencia de cambio es de aproximadamente 2 veces por temporada.
- ❑ *Filtros instalados en las estaciones de bombeo:* Para determinar si es necesario cambiar el medio filtrante de estos equipos contamos con la posibilidad de extraer muestras del medio en diferentes lugares y alturas del filtro y enviar estas muestras al proveedor para que determine la vida útil estimada que tiene ese medio y si es necesario cambiarlo o no.

Estos filtros se instalaron en noviembre de 2014 y se diseñaron para una duración de 1 año. En octubre de 2015 se realizó el muestreo de los medios y se envió a analizar por el proveedor. Los resultados de estos análisis indicaron que la vida útil estimada de los todos los medios, es superior a 12 meses. De todas maneras, se recomienda realizar otro muestreo en enero de 2016.

ACCIONES REALIZADAS PARA LA MITIGACIÓN DE CORROSIÓN POR H₂S

Además de la presencia de olores en distintos puntos del sistema de saneamiento de Maldonado y Punta del Este, se detectó un amplio deterioro de los tableros de potencia y comando, los cuales presentaban señales de corrosión. Esto se aduce a la presencia del gas sulfuro de hidrógeno, H₂S, el cual en condiciones de humedad y temperatura resulta muy dañino para los equipos electrónicos.

Por esta razón, la disminución de la concentración interna de H₂S mejora las condiciones de los equipos y sus elementos de control. En algunos casos las acciones de mitigación de olores y corrosión fueron las mismas, mientras que para otros se diseñaron sistemas especiales.

A continuación se presentan los estudios realizados, las acciones implementadas, el monitoreo y las futuras acciones con respecto a la corrosión en los equipos de la estación de bombeo de la ETE.

Estudios realizados

Se realizaron monitoreos para comprobar el riesgo de corrosión que presentaban estos equipos debido al grado corrosivo del ambiente en el cual se encontraban.

Para caracterizar el ambiente se utilizaron cupones de corrosión por pérdida de peso. Este método consiste en la exposición de cupones de un metal por un tiempo determinado al ambiente en estudio, y a partir de los cambios de masa en el mismo, calcular de manera sencilla la tasa de corrosión.

La norma ANSI-ISA 71.04-2013 clasifica el carácter corrosivo del ambiente en cuatro grupos, evaluados según su efecto sobre cupones de metales de cobre y plata.

En primera instancia se implementó este monitoreo en la Estación de Bombeo de ETE, esta estación fue lugar con mayor afectación de los equipos por la corrosión. Esta estación tiene la característica de que los variadores de las bombas sumergibles y el tablero de comando se encuentran en la misma sala que el pozo húmedo.

El monitoreo consistió en colocar cupones de cobre y plata en puntos estratégicos dentro de las salas de tableros, interiores y exteriores de la estación. Se obtuvo que la clasificación del ambiente se correspondía al grupo GX, grado Severo en el cual no se espera que el equipo electrónico sobreviva al ataque de corrosión. Asimismo la composición de la película de corrosión de los cupones revelaba sulfuro de cobre Cu_2S y sulfuro de plata Ag_2S confirmando que la presencia del sulfuro de hidrógeno es el principal generador del problema planteado.

TABLA ISA 71.04-2013 – Classification of reactive environments

Severity level	G1 Mild	G2 Moderate	G3 Harsh	GX Severe
Copper reactivity level (in angstroms)*	< 300	< 1000	< 2000	≥2000
Silver reactivity level (in angstroms)*	< 200	< 1000	< 2000	≥2000

Tabla 4. Clasificación del ambiente corrosivo referido al espesor de la película de corrosión que presentan los cupones de cobre y plata, luego de 30 días de exposición.

Acciones de mitigación realizadas

Frente a los resultados obtenidos del monitoreo con los cupones y a los problemas de corrosión en los equipos se implementaron las siguientes acciones de mitigación:

- ❑ Cerramiento de los variadores de la Estación de bombeo ETE, para aislar el equipamiento de la sala general.
- ❑ Instalación de sistemas de recirculación y filtro de carbón activado dentro de los cerramientos para purificar el aire. Estos sistemas se diseñaron para que el filtrado de la totalidad del aire de los cerramientos se realice de 3 a 10 veces por hora.
- ❑ Modificación del lugar de succión de aire dentro de la Estación de bombeo ETE. Esta succión se ubicó dentro del pozo de bombeo, en el lugar más bajo de la estación, con el fin de captar la mayor cantidad de H_2S . Esta captación envía el aire para el sistema de tratamiento de olores mediante Biofiltros.

Una vez implementadas las mejoras se volvió a realizar el monitoreo mediante el uso de cupones de corrosión los cuales determinaron una mejora considerable del ambiente corrosivo en el interior de la sala.

Además, dentro de la estación de bombeo se realiza el monitoreo de la concentración de H_2S . A continuación se presenta tabla con el resumen de este monitoreo.

Período de monitoreo	Concentración H ₂ S (ppm)		
	Máxima	Media	Mínima
Temporada estival 2012-2013	11	0,8	<0,5
Temporada estival 2013-2014	35	3	<0,5
Temporada estival 2014-2015	<0,5	<0,5	<0,5

Tabla 5. Resumen de mediciones de H₂S realizadas en la estación de bombeo ETE

La modificación del lugar de succión de aire dentro de la Estación de bombeo ETE se realizó previo a la temporada estival 2014-2015, donde se observa claramente que la calidad del aire dentro de la estación mejoró significativamente con respecto a las temporadas anteriores.

Nuevas tecnologías.

Recientemente se adquirió un equipo que permite monitorear en tiempo real la reactividad de todos los contaminantes presentes en el ambiente, la temperatura y humedad relativa, con el cual se evaluará la calidad de la ventilación y la recirculación del aire, evidenciando así la eficiencia de los filtros. De su uso en conjunto con los sistemas de purificación se pretende optimizar el consumo de energía y carbón activado, con el apagado o variación de inyectores según los datos relevados.