



ELECTRO QUIMICA
MEXICANA
S.A. DE C.V.

BOLETIN TECNICO



Control de H₂S

Control de olor de las fosas de recepción con Peróxido de Hidrógeno: una revisión de estudios recientes

Michael Fagan y Juan R. Walton, peróxido de los E.E.U.U. (949) 661-6713
17 de marzo de 1999

Por más de 50 años la manera Standard de ocuparse de los olores que se emanaban de las plantas de tratamiento de aguas residuales era pre-tratar el afluente cloacal con cloro. Un número creciente de Plantas de Tratamiento ha revisado esta situación y eligieron una respuesta distinta: peróxido de hidrógeno (H₂O₂). Sus resultados demuestran que el H₂O₂ puede sustituir el cloro con poco a ningún aumento en costos, y con las ventajas notables de este producto. Este estudio presenta cuatro estudios recientes conducidos en los municipios grandes e identifica los factores que ése los condujo a seleccionar el H₂O₂ para el control del olor de las cámaras de recepción.

Razones para el aumento en el uso de H₂O₂

1. *Tendencia de la industria de eliminar el cloro (y sus riesgos asociados).*

El Standard de proceso del manejo de la seguridad del OSHA (PSM) - 29 CFR 1910.119 - fue promulgado en ley en 1992 y entró en aplicación en mayo de 1997. El Standard de PSM requiere que las instalaciones se preparen para el manejo comprensivo en casos de derrames catastróficos de ciertos materiales tóxicos. Esto implica análisis de peligros de proceso, procedimientos de funcionamiento del Standard, entrenamiento del empleado, las investigaciones de cada incidente, planeamiento y respuesta de la emergencia, y las auditorías periódicas de cumplimiento. Al ser un gas comprimido tóxico, el cloro está comprendido dentro de estas regulaciones si está almacenado en cantidades > 1500 libras. Esto incluye la unidad de empaquetado de la industria Standard - cilindros una tonelada. Los costos a conformarse con la ley se han estimado como sigue.

Modificaciones de la planta	\$1,000,000 - 3,000,000
Documentación y disposición iniciales	\$ 150,000 - 500,000
Total	\$1,150,000 - 3,500,000

NOTA. Las modificaciones de planta incluyen los cuartos de almacenaje con presión negativa equipados con sistemas de tratamiento de vapor en caso de emergencia (terminar con energía de reserva, el etc.) para contener y para neutralizar un derrame accidental.

Además, la ley indica que los programas de PSM deben ser mantenidos y revisados al menos cada tres años. Esto puede agregar otro \$25.000 - 75.000 por año al costo. Además, los costos para el seguro de responsabilidad suplemental. Claramente, estos costos afectan el costo real para usar el cloro. Para una planta típica usando 2-3 toneladas al día, el costo completo para el cloro puede aumentar en cerca de \$150 a \$250-400 por tonelada. Perceptiblemente, el H₂O₂ (35% y el 50%) son exentas de ser manejados como productos que requieren de estas inspecciones.

2. Costo mas bajo de H₂O₂ cuando se compara con otros productos químicos

La primera respuesta lógica al aumento de costos para el cloro es cambiar a cloro líquido (hipoclorito del sodio, NaOCl), que no es un material controlado por PSM. Sin embargo, NaOCl cuesta cerca de cinco veces mas sobre una base activa. Esto entonces abre el campo en otros agentes de control de olor, tales como H₂O₂. Además de funcionar perfectamente bien (para el control de olor de las cámaras de recepción), el H₂O₂ es considerablemente más barato que NaOCl, con los costos reales estando más cercano al cloro (véase el cuadro 1).

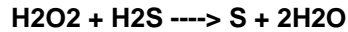
Los dos factores de costo para el H₂O₂ son la dosis y el precio unitario. La dosis se cubre en los estudios de caso que siguen. El precio unitario para el H₂O₂ ha caído constantemente sobre los últimos 20 años mientras que la producción ha aumentado diez veces para satisfacer la demanda que estallaba para los productos cloro-libres, especialmente en la pulpa y la industria de papel. Cuando está ajustado según la inflación, el H₂O₂ cuesta hoy 70-80% menos que hizo en los años 80.

Cuadro 1. Costos comparativos para los productos químicos del control del olor de las cámaras de recepción (costos típicos para tratar 200 libras/día de H₂S liquid-phase, e.g., 5 mg/l en magnetohidrodinámica 5).

Oxidante	Cociente práctico peso (como 100%)	Costo unitario típico	Requisito (por día)	Costo eficaz (\$ por día)
Cloro (bulto)	6-8: 1	\$300/Ton	0.6-0.8 toneladas	\$180-240
Cloro (cilindros)	6-8: 1	\$500/Ton	0.6-0.8 toneladas	\$300
Hipoclorito del sodio (12.5%, 1.1 libras/galón)	6-8: 1	\$0.40/Gal	960-1280 galones	\$380-510
Peróxido de hidrógeno (50%, 5.0 libras/galón)	1.2-1.5: 1	\$3.45/Gal	48-60 galones	\$165-210

3. *Reacción eficiente del H₂O₂ con H₂S.*

En el pH de aguas residuales municipales, la reacción del H₂O₂ con el sulfuro es como sigue, resultando en sulfuro y agua elementales.



Peso molecular	34	34
Cociente del peso	1.0	1.0

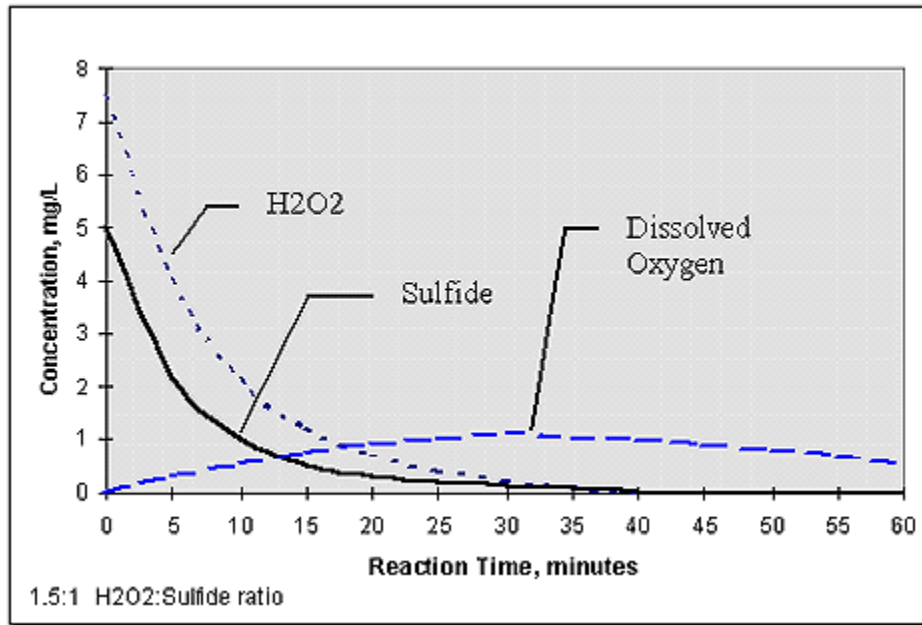
La eficacia en la cual ocurre esta reacción depende en la práctica de muchos factores, el más importante de cuál es tiempo de reacción y duración disponibles del control. La gama óptima es típicamente entre 5-20 minutos y 1-2 horas. Sin embargo, en los estudios de caso de esta demostración de este estudio (véase el cuadro 2), los cocientes prácticos más cercanos al teórico son mas alcanzables si uno puede funcionar más cerca a la gama óptima.

Cuadro 2. H₂O₂ eficaz: Cocientes de la dosis de S (por estudios de caso recientes)

Municipio	Dosis eficaz (por peso)	Tiempo Disponible de Reacción (minutos)	Nivel acuoso del sulfuro		
			Antes (mg/l)	Después (mg/l)	Diferencia %
Orange County, CA	1.2	6 - 10	3 - 5	0.2 - 0.5	90 - 95
San Jose, CA	1.4	5 - 10	2 - 4	0.3 - 0.5	80 - 90
MWRA (Boston, mA)	1.3	8 - 10	3 - 5	0.2 - 0.3	90 - 95
Hyperion (Los Ángeles)	1.2	8 - 10	3 - 5	0.3 - 0.5	90 - 95

¿Qué pasa con el exceso de H₂O₂? ¿Reacciona con amoníaco o con los muchos orgánicos presentes en las aguas residuales, al igual que cloro y el hipoclorito? Se descompone en oxígeno y agua. Esto puede ser confirmado siguiendo el oxígeno disuelto que demuestran típicamente un aumento estequiométrico en lo referente a exceso de H₂O₂ - 1 mg/l del H₂O₂ residual lanzará 0.5 mg/l O.D. Para los usos de las cámaras de recepción, esto da lugar a un perfil caracterizado en el cuadro 3 (abajo). Esto tiene valor práctico en la generación en clarificadores en ese sentido descendiente - un aspecto de control del sulfuro no producido por el cloro o el hipoclorito.

Cuadro 3. H₂O₂ típico - perfil de la reacción del sulfuro (en aguas residuales domésticas).



Estudios de caso

1. Los distritos de saneamiento de 'Orange County', California

En los distritos de saneamiento de Orange County (CSDOC), en California, Estados Unidos, funcionan dos plantas de tratamiento secundarias (80 y 175 MGD, o Millones de Galones por Día) que han utilizado históricamente cerca de 280 toneladas por año de cloro para controlar niveles del sulfuro en las aguas residuales del afluente. En 1993, los distritos emprendieron un programa comprensivo para sustituir todas las aplicaciones de cloro dentro de sus operaciones. En base a un estudio anterior que analizaba el H₂O₂ y FeCl₃ como reemplazos potenciales, los distritos eligieron el H₂O₂ por razones relacionadas con el costo, la facilidad de manipulación, y la reacción limpia con H₂S. La información siguiente fue derivada del arranque de planta del H₂O₂ que dosificaba en la planta No.2 de CSDOC, según lo divulgado previamente por su representante.

Antecedentes

El primer desafío en poner el H₂O₂ en uso es el tiempo de reacción limitado disponible desde que el afluente entra en los límites de la planta y cuando descarga en el cámaras de recepción. Esto varía a partir de 5 a 17 minutos, con otros 15 minutos a los clarificadores primarios. Los resultados de los estudios de jarra indican que el H₂O₂ se debe inyectar en cada uno de las cinco líneas, teniendo en cuenta tanto tiempo de reacción como sea posible. Las bombas de medición a control de tiempo fueron utilizadas para emparejar niveles de entrada del H₂O₂ al perfil diario del sulfuro de cada línea interurbana.

Cuadro 4. Planta no 2 de CSDOC - la caracterización del afluente fluye.

Línea interurbana	Flujo (MGD)	Tiempo Disponible de Reaccion (minutos)	Total típico Sulfuro (mg/l)
Bushard	14	5 minutos	1.7
Miller-Holder	16	6 minutos	4.7
Interplant	120	8 minutos	0.8
Districts 5 and 6	11	9 minutos	6.0
Coastline	6	17 minutos	5.0

Resultados

La tabla siguiente muestra que después de cinco semanas de ensayo, el estudio concluye que el H₂O₂ es eficaz en sulfuros que controlan en las aguas residuales del afluente en un costo igual a el cloro.

Cuadro 5. CSDOC - Resumen de las pruebas en práctica que comparan el H₂O₂ a el cloro.

Localización	Sulfuro acuoso total (mg/l)		Sulfuro atmosférico, PPM	
	Con cloro	Con H ₂ O ₂	Con cloro	Con H ₂ O ₂
Cámaras de recepción	0.6	0.5	0.9	0.4
Afluente primario	0.2	0.2	0.7	0.9
Efluente primario	0.2	0.1	----	----

Costos: Cloro - 6.25 toneladas por el día @ \$247. por tonelada = \$1.544 por día.
H₂O₂ - 700 galones por el día @ \$2.39 por galón - \$1.673 por día.

Notas: El cloro fue dosificada en 9 mg/l, o el cociente del peso de 6:1 en el sulfuro total.
El H₂O₂ fue dosificado en 2.5 mg/l, o el cociente del peso de 1.5:1 en el sulfuro total - los distritos han reducido desde entonces esto a 1.2:1 sin la afectación de funcionamiento total.

2. San Jose / planta de control de contaminación del agua de Santa Clara (San Jose, California)

La planta de tratamiento de efluentes de San José / Santa Clara contrajo un acuerdo con Southland Ambiental (SLE) en 1996 para conducir una demostración de tres meses del H₂O₂ en un esfuerzo de mejorar el control de los olores que emanaban de sus cámaras de recepción y clarificadores primarios. Ampliar las instalaciones existentes de cloro para resolver estas metas habría implicado realizar mejoras importantes requeridas por los nuevos códigos de fuego y las regulaciones de proceso de la gerencia de seguridad. Los detalles de este estudio se contienen en el informe del proyecto que es resumido más adelante.

Antecedentes

La planta de San José / Santa Clara es una planta terciaria de tratamiento de 130 MGD que recibe las aguas residuales a partir de tres interceptores (véase el cuadro 6). Durante picos de flujos, una porción del efluente primario se diverge a una pileta de equalización de 20 MGD, y alimenta a las unidades secundarias durante las horas de la mañana. El cloro se inyecta en dos lugares para el control del olor a partir de abril a octubre: en el afluente a las cámaras de recepción (10.000-15.000 libras/día); y en el afluente a la pileta de equalización (3.000-5.000 libras/día). Esto correspondió a un cociente de dosis en las cámaras de recepción de 7-8:1 (cloro peso en peso : sulfuro). Las razones primarias de considerar el H₂O₂ en lugar de otras alternativas químicas eran el éxito de otros municipios en convertir el cloro a H₂O₂, y la tendencia de precio favorable para el H₂O₂.

La figura 6. San Jose/el Afluente de Papá Noel Clara WPCP fluye.

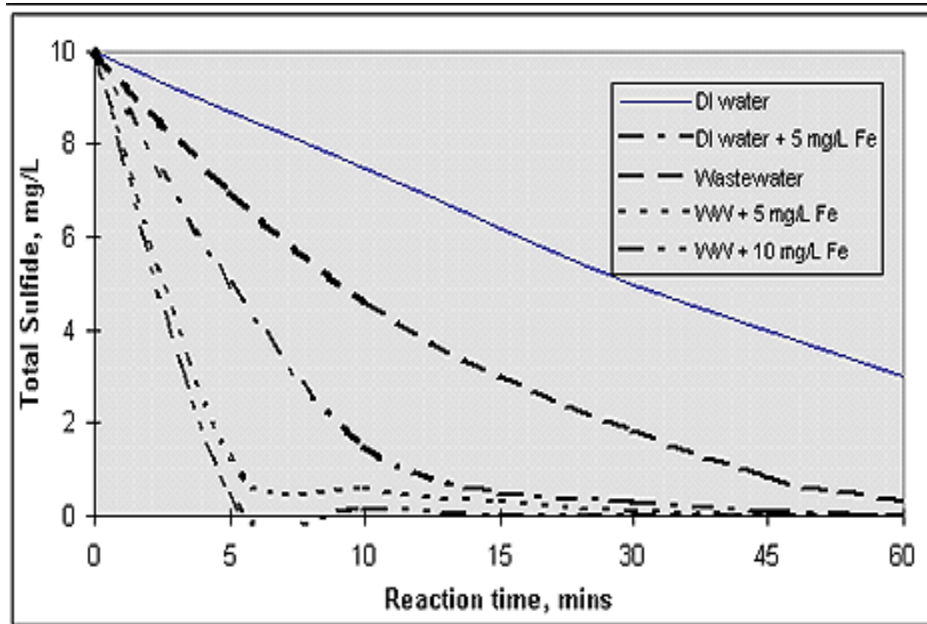
Línea interurbana	Flujo (MGD)	Disponible Reacción Tiempo	Total típico Sulfuro (mg/l)
San José	75	3 minutos	1.8
Milpitas	10	5 minutos	2.4
Santa Clara	40	6 minutos	2.0

Resultados

El relevamiento inicial indicó que cerca de 2000 libras/día (o 1.8 mg/l) de sulfuro entraban en la planta de tratamiento en el sistema de colección. Otras 825 libras/día (o 0.7 mg/l) eran generados dentro de los clarificadores primarios. Esto explicó porqué la inyección de el cloro en las cámaras de recepción no controlaba olores de los clarificadores. El método tomado con H₂O₂ era así doble: 1) utiliza un solo punto de la inyección en cada uno de los interceptores que descargan en las cámaras de recepción; y 2) proporcionan una dosis adicional en el afluente a los clarificadores primarios.

Los resultados demostraron que una dosis de H₂O₂ 1.4:1 S alcanzó el nivel deseado de control en las cámaras de recepción (< 0.5 mg/l). Para los clarificadores, la combinación de la inyección de las cámaras de recepción (2.5 mg/l) y la dosis adicional (1.5 mg/l) fueron demostrados ser los más eficientes, mejorando el costo-funcionamiento de las cámaras de recepción excesivos al 20%. Un factor significativo en el funcionamiento del H₂O₂ en esta facilidad es el uso de FeCl₃ en el sistema aguas arriba de la colección (para el control del olor). Según lo indicado en el cuadro 7 (abajo), el efecto de 1-2 mg/l del hierro en las aguas residuales del afluente era catalizar la reacción del H₂O₂ con el sulfuro, acelerando el retiro de sulfuro por un factor de 2 - 3. La conclusión es que el H₂O₂ proporcionó un control mejor del H₂S a través de los clarificadores primarios que el cloro - no hay tratamiento de la pileta de equalización necesario cuando el H₂O₂ fue agregado. Además, sobre una base igual del funcionamiento, el costo eficaz para el H₂O₂ era igual o menos que ése para el cloro.

Figure 7. Efecto del hierro en la catalización de la reacción entre H₂O₂ y sulfuro.



3. Autoridad del recurso de agua de Massachusetts (MWRA - Boston, Massachusetts)

Bajo la dirección de la autoridad de los recursos de agua de Massachusetts (MWRA), se condujo un estudio de tratamiento previo en 1996 para investigar las alternativas para controlar el sulfuro en la fase líquida que entraba en la planta de tratamiento de la Isla de los Ciervos. Los resultados de este trabajo fueron presentados en la conferencia anual de WEFTEC el año siguiente,⁴ y se resumen abajo.

Antecedentes

El motivo para el estudio surgió el verano anterior en que los depuradores del olor de las cámaras de recepción se sobrecargaron con gas H₂S de más de 200 PPM, creando olores desagradables y corroyendo la nueva infraestructura. Mucho del sulfuro se genera en los tres conductos (túneles) con caudales de 350 MGD de aguas residuales. Según las indicaciones de la tabla abajo, las velocidades bajas dentro de estos túneles son un factor importante que contribuye a los altos niveles del sulfuro.

Figura flujos del afluente de 8.MWRA.

Afluente Túnel	Flujo (MGD)	Distancia (pies)	Diámetro (pies)	Retención Tiempo (horas)	Velocidad (fps)
Drenaje de la cañería de Boston	125	2000	10	3.6	0.15
Inter isla	90	2650	11	5.4	0.14
Relevación del norte del metro	85	20,800	10	3.6	1.60

El estudio se centró en una de las tres líneas (el túnel principal del drenaje de Boston), y analizaba los cuatro productos químicos principales del tratamiento para el control fase líquida del sulfuro: cloruro férrico (FeCl_3), hipoclorito del sodio (NaOCl), peróxido de hidrógeno (H_2O_2), y nitrato de calcio ($\text{CA} (\text{NO}_3)_2$). Dependiendo del producto químico, fue inyectado en la estación principal de la bomba (en la isla, 24 minutos de retención en las cámaras de recepción) o las cámaras de recepción que estaban mas lejos en el frente del túnel (fuera de la isla, 4 horas de retención). La meta era reducir niveles del H_2S en los depuradores primarios del clarificador a < 25 PPM (una reducción de el cerca de 90%).

Resultados

El cloruro férrico fue inyectado en dos puntos de inyección: primero en las cámaras de recepción alejados; y también en la estación principal de la bomba de DITP. Cuando se dosificaba en las cámaras de recepción alejados (con relación de 20:1), trastornos al proceso ocurrieron en el DITP en la forma de sólidos que no sedimentaban, caída del pH, espuma en los clarificadores y piletas de desinfección, y adherencia al cilindro de los sólidos en los concentradores de gravedad. Al bajar la dosis a 5-10: 1 eliminaron estos trastornos pero causo que H_2S exceda la meta del objetivo. Resultados similares fueron obtenidos cuando el FeCl_3 fue agregado en la estación principal de la bomba, con la complicación adicional de la espuma y aumento de la presión en el digestor anaerobio. Por estas razones, el cloruro férrico no fue recomendado para la puesta en práctica.

El hipoclorito de sodio fue inyectado en la estación principal de la bomba de DITP debido a su reacción rápida con el sulfuro. NaOCl alcanzó los niveles del retiro del H_2S deseado, pero los operadores encontraron difícil de determinar la dosis óptima - es decir, los niveles del H_2S no respondieron rápidamente a los cambios en la dosis. Ningún problema operacional resulto del NaOCl , aunque el potencial para la formación de cloroformo era una preocupación dada las restricciones de la calidad del aire de la planta. También una preocupación era que dosis más altas de NaOCl podrían causar la corrosión del equipo y afectar el proceso secundario del tratamiento.

El nitrato de calcio fue agregado en las cámaras de recepción mas distantes puesto que requiere la mediación por la biología de las aguas residuales para controlar el sulfuro (es decir, no oxida el sulfuro directamente). Cuando estaba dosificado en un cociente del peso de 2.4:1, el nitrato de calcio alcanzó los niveles de retiro propuestos, pero los operadores encontraron difícil de mantener las dosis óptimas. La supervisión cuidadosa era necesaria evitar trastornos de la planta.

El peróxido de hidrógeno fue agregado en la estación principal de la bomba de DITP debido a su reacción relativamente rápida con el sulfuro. Cuando estaba dosificado en un cociente del peso de 1.2:1, el H_2O_2 bajó los niveles del H_2S a través de la planta dentro de una hora - mucho más

aprisa que los otros productos químicos. La dosificación era exacta y fácil de controlar, sin impacto adverso en operaciones.

El cuadro 9 (abajo) resume los gastos de explotación anuales estimados para los tres productos químicos que resolvieron el criterio del retiro del H₂S. De acuerdo con los resultados del campo, y en costos del presente y de ciclo vital, M&E recomendó que el H₂O₂ esté utilizado para el control del H₂S en el DITP.

Cuadro 9. Cocientes de la dosis y gastos de explotación comparativos (para el H₂O₂, el nitrato, y NaOCl)

Controlar el producto químico	Tarifa de dosis media		Estimado Gastos de explotación
	(gpm)	(mg/l)	
Hipoclorito del sodio - 12.5%	6.9	3.7	\$434,000/año
Peróxido de hidrógeno - el 50%	1.3	3.2	\$320,000/año
Nitrato de calcio - el 54%	3.5	10.4	\$1,258,500/año

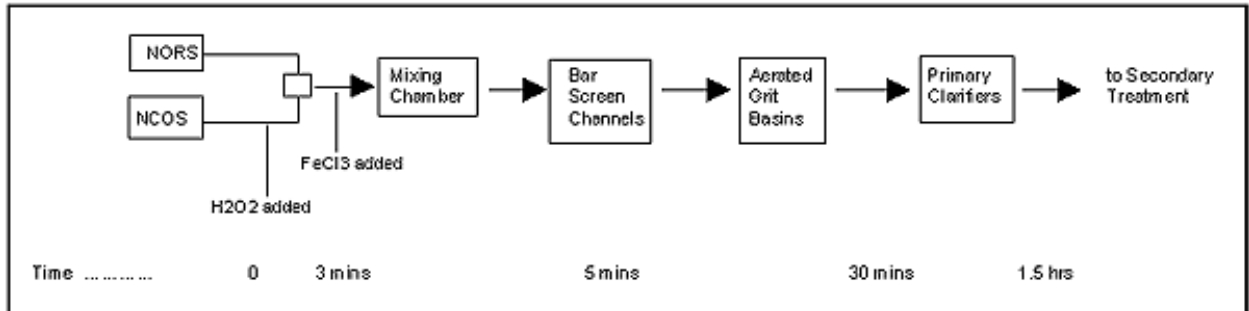
4. Planta de tratamiento de Hyperion (Los Ángeles, California)

La planta de tratamiento de Hyperion (HTP) contrajo con Southland ambiental (SLE) en 1995 para conducir una serie de demostraciones usando el H₂O₂ para el control del olor de las cámaras de recepción. La meta era reducir cargamentos del sulfuro a los depuradores del olor y mejorar olores ambientales generales alrededor de la planta. Los resultados de este trabajo se contienen en el informe del proyecto, y son resumidos a continuación.

Antecedentes

La planta de tratamiento de Hyperion es una planta secundaria de tratamiento de 360 MGD que utiliza la clarificación primaria química (con FeCl₃ y polímero aniónico) para maximizar retiro de DBO en la planta. Los estudios mostraron que los dos contribuidores primarios al sulfuro en las cámaras de recepción eran los interceptores de NORS y de NCOS, cada uno representando cerca de 45% de la carga (y flujo) en la planta. Los niveles totales del sulfuro durante los meses más calientes eran 2.5 - 4.5 mg/l. Los niveles del H₂S en los depuradores de las cámaras de recepción eran 125-200 PPM. La demostración consistió en tres estudios conducidos sobre un período de dos años, con cada uno consistiendo de 1-2 semanas. Los objetivos específicos eran establecer un perfil constante de la dosis-respuesta e identificar las ventajas económicas y/o operacionales ancilares asociadas al tratamiento.

Cuadro 10. Secuencia química de la inyección para el estudio de HTP.



Resultados

El cuadro 11 (abajo) resume el perfil de la respuesta a distintas dosis desarrollado con el estudio. Los niveles del H_2S en los productos del depurador fueron reducidos 50 a el 90%, dependiendo de la dosis. Los olores ambiente fueron observados para ser reducidos en forma importante, y la transferencia mejorada del oxígeno fue observada en el proceso secundario del tratamiento.

Cuadro 11. perfil de la Dosis-respuesta

Cociente de la dosis H_2O_2 : S (w/w)	Sulfuro total (mg/l)		H_2O_2 residual (mg/l)	
	Afluente del clarificador	Efluente del clarificador	Afluente del clarificador	Efluente del clarificador
Camaras de recepcion	0.6	0.5	0.9	0.4
Afluente primario	0.2	0.2	0.7	0.9
Efluente primario	0.2	0.1	----	----

Otras ventajas fueron derivadas de la adición concurrente del H_2O_2 y de $FeCl_3$. En una parte, el hierro sirvió para catalizar la reacción $S-H_2O_2$, aumentando el índice del retiro del sulfuro. Por otra parte, el H_2O_2 mantuvo el hierro en estado oxidado, de tal modo realizando la floculación. El uso $FeCl_3$ fue reducido 25-50% mientras que el H_2O_2 era probado. Mucho de los ahorros se puede atribuir al retiro del sulfuro por H_2O_2 , que habría precipitado de otra manera el hierro. El trabajo adicional se planea para explorar esta sinergia evidente entre el H_2O_2 concurrente y la adición $FeCl_3$.

Conclusiones

Los estudios en el campo recientes prueban que el H_2O_2 es un reemplazo rentable al cloro para los olores de las cámaras de recepción que controlan. Las dosis optimizadas determinadas en estos estudios son considerablemente menos que los divulgados con frecuencia en la literatura. La razón más probable de esta diferencia es que el H_2O_2 no está utilizado a veces en su manera

óptima (es decir, tiempos de reacción > 5-20 minutos y veces de la retención (1-2 horas). Los estudios también destacan que las demostraciones son necesarias para determinar los beneficios de costo completos de los productos químicos del control del sulfuro, especialmente H₂O₂. Aparte de lo obvio (es decir, el tratamiento reducido del vapor), las ventajas de usar el H₂O₂ para el control del sulfuro de las cámaras de recepción incluyen la elevación de Oxígeno Disuelto y (cuando está utilizado conjuntamente con el hierro) una separación más eficiente de los sólidos a través de clarificadores primarios.

Lista de valores

1. Costo comparativo de productos químicos del control del olor de las cámaras de recepción
2. H₂O₂ eficaz: Cocientes de la dosis del H₂S (por estudios de caso recientes)
3. H₂O₂ típico - perfil de la reacción del H₂S (en aguas residuales domésticas)
4. Orange County - caracterización de los flujos del afluente
5. Orange County - resumen de las pruebas en práctica que comparan el H₂O₂ a el cloro.
6. San Jose / Santa Clara - caracterización de los flujos del afluente
7. Efecto del hierro en la catálisis de la reacción entre el H₂O₂ y el sulfuro
8. MWRA - Caracterización de los flujos del afluente
9. MWRA - Cocientes de la dosis y gastos de explotación comparativos (para el H₂O₂, el nitrato, y NaOCl)
10. Hyperion - secuencia química de la inyección
11. Hyperion - perfil de la Dosis-respuesta

Referencias

1. Operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales - manual de la práctica no 11, federación del control de la contaminación del agua, P. 419 (1976).
2. Dao, Chloe, "evaluación de los productos químicos del reemplazo de el cloro", en el boletín, asociación del control de Pollution del agua de California, pp. (Winter, 1994).
3. "Informe del proyecto (San Jose/planta del control de la contaminación del agua de Papá Noel Clara): Control del olor en la planta de tratamiento Camaras de recepción y los clarificadores primarios", Southland ambiental (febrero de 1997).
4. McMonagle, T., S. Johnson, y R. Otoski, "programa del tratamiento previo del sulfuro para controlar olores en la planta de tratamiento de la isla de los ciervos de Massachusetts de agua de la autoridad de los recursos (MWRA)", no de papel 9728003, 70.a conferencia anual de WEFTEC (el octubre de 1997 - Chicago, IL).
5. "Informe del proyecto (planta de tratamiento de Hyperion, Los Ángeles): Inyección del peróxido de hidrógeno en las alcantarillas del Afluente para el control del olor de Camaras de recepción", Southland ambiental (marzo de 1998).