

Memoria Técnico-Descriptiva

PARA LA ELABORACIÓN DEL:

Sistema de ajuste de pH con ácido sulfúrico al 98%, en tanque de entrega, para 10 m³/s, dividido en 4 trenes de 2.5 m³/s cada uno (incluye obra civil, mecánica, eléctrica, control, instrumentación y comunicación centralizada del sistema de medición y control).

Guadalajara, Jalisco, a 29 de mayo del 2025



Contenido

1. Introducción	3
2. Justificación del proyecto	3
3. Determinación de dosis y almacenamiento de ácido sulfúrico (H3	
4. Selección de materiales de conducción y almacenamiento de Ácido Sulfúrico	5
5. Determinación de la capacidad de diques de contención para el sistema de ajuste de pH	7
6. Determinación del Número de Reynolds	8
7. Consideraciones Generales	8
8. Bibliografía	9



1. Introducción

Este documento presenta información técnica básica para tener una visión del Proyecto Ejecutivo, en el cual se está considerando el suministro, instalación y puesta en marcha del "Sistema de ajuste de pH con ácido sulfúrico al 98%, en tanque de entrega, para 10 m³/s, dividido en 4 trenes de 2.5 m³/s cada uno (incluye obra civil, mecánica, eléctrica, control, instrumentación y comunicación centralizada del sistema de medición y control)".

Este proyecto surge con el objetivo de disminuir la dosis requerida de coagulante en la etapa de coagulación del tren tratamiento de la Planta Potabilizadora No. 1 "Miravalle" y a su vez mejorar la calidad del agua producto. El proceso de coagulación depende en gran medida de las condiciones fisicoquímicas del agua, siendo el pH uno de los parámetros más críticos para garantizar la eficacia del coagulante y la formación de flóculos estables.

Según Kawamura (2000), el pH no sólo influye en la especiación del coagulante metálico, sino también en la carga superficial de las partículas coloidales presentes en el agua, que deben ser desestabilizadas para permitir la agregación. En ese sentido, el ajuste de pH previo a la coagulación permite optimizar la formación de especies hidroxiladas del coagulante, que son responsables del arrastre de partículas y compuestos orgánicos mediante el mecanismo de "sweep flocc". Además, el pH influye en la carga residual del agua tratada y en la estabilidad del pH en procesos posteriores como la floculación, sedimentación y desinfección.

2. Justificación del proyecto

El ajuste de pH previo a la coagulación es una práctica ampliamente respaldada por la literatura técnica (Kawamura, 2000; MWH, 2012), ya que permite optimizar la especiación del coagulante y promover la formación eficiente de hidróxidos metálicos responsables de la remoción de turbidez, coloides y materia orgánica.

En el caso particular de la Planta Potabilizadora No. 1 "Miravalle", el agua cruda que recibe presenta un pH de aproximadamente 8.4; sin embargo, estudios de tratabilidad realizados han demostrado que la eficiencia en la remoción de contaminantes mejora significativamente cuando el pH se ajusta a valores



cercanos a 7.5. Esta condición favorece la formación de flóculos más densos y estables, lo cual incrementa el rendimiento del proceso de sedimentación.

Dado que el tanque de entrega alimenta tanto a la PP1 como a otros usuarios finales, realizar el ajuste de pH en ese punto estratégico del sistema permitirá extender los beneficios del tratamiento, mejorando la calidad del agua no solo en la planta, sino también en los demás sistemas que dependen de esa línea de conducción. Esta medida resulta técnica y operativamente conveniente, ya que promueve la uniformidad del tratamiento químico y reduce la variabilidad de calidad en la red.

3. Determinación de dosis y almacenamiento de ácido sulfúrico (H_2SO_4) para ajuste de pH

Para la determinación de la dosis de H_2SO_4 al 98%, para ajustar el pH a 7.5, se llevaron a cabo pruebas durante tres días, muestreando en la mañana y en la tarde, agua proveniente del tanque de entrega, ubicado en Calle Acueducto 565, San Pedro Tlaquepaque, Jal.

Como resultado de las pruebas de ajuste de pH, se generaron las curvas que se muestran a continuación:

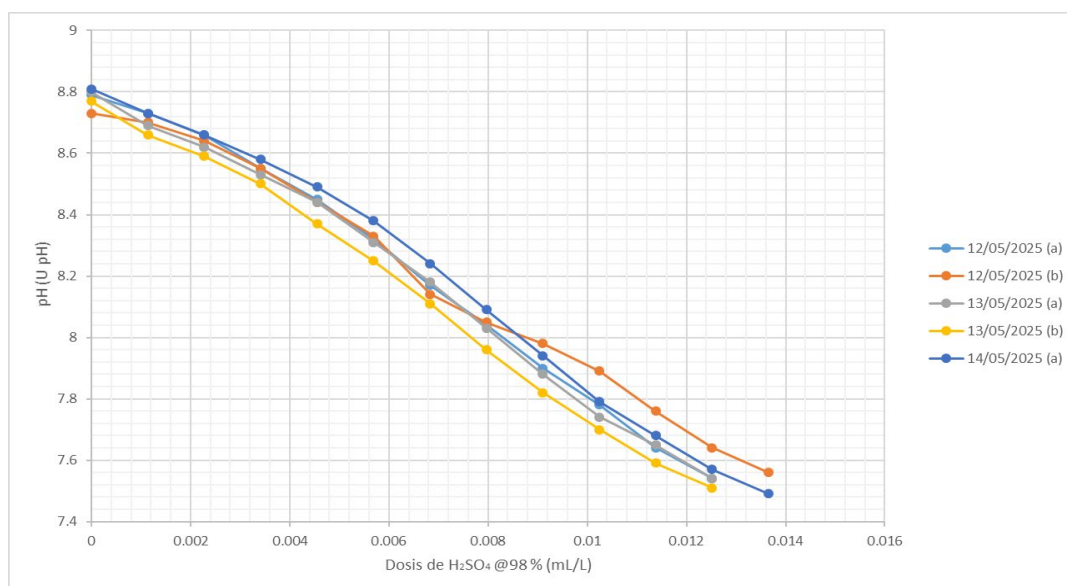


Fig. 1 Grafica de Ajuste de pH



De acuerdo con los datos obtenidos durante las pruebas de ajuste de pH en laboratorio, se concluye lo siguiente:

Dosis de H ₂ SO ₄ [98 %] utilizada para llegar a pH 7.5	24.22	mg/L
	0.0137	mL/L
	0.025	g/L

Estos datos se utilizan para el cálculo de la capacidad de almacenamiento y para el cálculo de la capacidad de las bombas dosificadoras que se deberán contemplar por tren (2.5 m³/s).

- a) Consumo de ácido sulfúrico durante 15 días, por lo tanto, obtenemos lo siguientes dados:

Consumo x m ³	0.025	kg/m ³
Consumo x día	5400	kg/día
Consumo x mes	162000.0 0	kg/mes
Consumo x mes	90	m ³ /mes
Consumo x 15 días	45	m ³ /15 días
Consumo de ácido con sobre diseño	56.25	m ³ /15 días
Capacidad de almacenamiento redondeada al inmediato superior	60	m ³

De acuerdo con los cálculos, para el almacenamiento del ácido sulfúrico para un consumo de 15 días se necesitan dos tanques de 30 m³, se considera que el tanque será tipo horizontal con tapas toriesfericas para garantizar el adecuado mantenimiento preventivo y correctivo del tanque.

El tanque de día deberá tener una capacidad de 3 m³ de almacenamiento y será tipo vertical con tapas toriesfericas debido a que el tanque es más



pequeño y se puede garantizar que el mantenimiento se realizará de forma segura.

b) Capacidad de la bomba dosificadora:

Flujo másico	224.10	kg/h
Flujo volumétrico	124.50	L/h
Capacidad dosificación	249	L/h
Capacidad de la bomba dosificadora	124.50	L/h

De acuerdo con los cálculos, para la dosificación se consideran 3 bombas dosificadoras de al menos 124.5 LPH de capacidad de flujo (se mantendrán 2 bombas en operación + 1 en reserva).

4. Selección de materiales de conducción y almacenamiento de Ácido Sulfúrico

El ácido sulfúrico al 98% es uno de los reactivos más usados en la industria, pero debido a sus características de alta reactividad, es necesario asegurar el manejo adecuado del mismo, implementando los controles necesarios, así como seleccionando los materiales óptimos.

En el mercado actual de tanques de almacenamiento, existe una gran variedad de materiales sugeridos directamente por los propios fabricantes, que ostentan brindar seguridad para el manejo del ácido sulfúrico al 98%. Algunos de los materiales sugeridos son:

- Acero al carbón
- Acero inoxidable 316 L
- Polietileno reforzado con fibra de vidrio
- Polietileno
- Teflón
- Acero al carbón con recubrimiento interno
- Polipropileno



Sin embargo, existe una norma que brinda lineamientos claros sobre las consideraciones a tener en cuenta para el manejo seguro del ácido sulfúrico al 98%:

La norma **NACE SP0204 (antes RP0294)**, titulada "Standard Practice: Design, Fabrication, and Materials for Insulated and Uninsulated Vessels and Equipment for Sulfuric Acid Service", es la principal referencia de NACE International para el almacenamiento y manejo seguro de ácido sulfúrico.

Esta norma recomienda el acero al carbono para el almacenamiento de ácido sulfúrico concentrado, incluyendo el 98%, debido al fenómeno denominado pasivación, el cual consiste en la formación de una capa protectora de sulfato de hierro (FeSO_4) sobre la superficie del acero al carbono cuando está en contacto con ácido sulfúrico concentrado. Esta capa es insoluble y relativamente densa, inhibiendo una mayor corrosión del metal base.

Puntos clave de la NACE SP0204 sobre el acero al carbono para ácido sulfúrico al 98%:

- **Acero al Carbono (Carbon Steel):** Es el material preferido y más económico para el almacenamiento y transporte de ácido sulfúrico a concentraciones superiores a aproximadamente el 93% (aunque algunos límites se extienden hasta el 65-70% dependiendo de las condiciones de servicio) y temperaturas de hasta alrededor de 50-60°C (120-140°F).
- **Mecanismo de Protección:** La norma detalla que la resistencia a la corrosión del acero al carbono en ácido sulfúrico concentrado se debe a la formación de una capa protectora de sulfato de hierro insoluble (FeSO_4) en la superficie del metal. Esta capa, si es continua y estable, reduce drásticamente la tasa de corrosión.
- **Consideraciones Críticas:**
 - **Concentración:** La pasivación es efectiva solo a altas concentraciones. La norma establece rangos seguros y advierte sobre el riesgo de corrosión severa si el ácido se diluye por debajo de un umbral crítico.
 - **Temperatura:** La temperatura es un factor crucial. A medida que la temperatura aumenta, la solubilidad de la capa pasivante aumenta y su estabilidad disminuye, lo que lleva a tasas de corrosión más altas.



La NACE SP0204 proporciona curvas de corrosión que relacionan la concentración y la temperatura con la tasa de corrosión para diferentes materiales, lo que permite seleccionar el material adecuado para condiciones específicas.

- **Velocidad de Flujo/Agitación:** La erosión-corrosión puede ocurrir si la capa pasivante se rompe debido a altas velocidades de flujo o turbulencias. La norma proporciona directrices para el diseño de tuberías y equipos para minimizar este riesgo.
- **Contaminantes:** La presencia de ciertos contaminantes en el ácido sulfúrico (como iones oxidantes o halógenos) puede afectar la capa pasivante y aumentar la corrosión.
- **Diseño y Fabricación:** La norma también aborda aspectos de diseño y fabricación, como la soldadura, las uniones y la necesidad de evitar trampas de humedad, que pueden conducir a la dilución del ácido y, por lo tanto, a la corrosión localizada.
- **Drenaje Completo:** La importancia de un buen drenaje para evitar la acumulación de condensado o humedad, que podría diluir el ácido y causar corrosión, es un aspecto clave.

En resumen, la **NACE SP0204 respalda el uso de acero al carbono para el almacenamiento de ácido sulfúrico al 98%**, pero enfatiza la necesidad de un diseño cuidadoso y el cumplimiento de las condiciones de operación (principalmente temperatura y evitar la dilución) para asegurar la integridad del material. Es una norma fundamental para cualquiera que diseñe o gestione instalaciones de almacenamiento de ácido sulfúrico.

5. Determinación de la capacidad de diques de contención para el sistema de ajuste de pH

Los cálculos de la capacidad del dique de contención para los tanques de almacenamiento se basan en los lineamientos establecidos por la normatividad vigente en materia de seguridad ambiental e industrial (al menos 1.3 veces el volumen si se tienen más de un tanque en el mismo dique). Esta medida busca garantizar que, en caso de fuga, derrame o falla estructural, el dique contenga completamente el volumen liberado sin riesgo de desborde, incluso bajo condiciones de lluvia o eventos imprevistos. Por lo tanto, las



dimensiones del dique de contención para los tanques de almacenamiento de ácido sulfúrico se han determinado considerando esta relación mínima de capacidad, así como un margen adicional de seguridad para efectos de evaporación, asentamiento del terreno y tolerancias constructivas.

a) Dique de contención para 2 Tanques de Almacenamiento de 30 m³

Dimensión	Valor	Unidad
Ancho	9.50	m
Largo	10.50	m
Alto	0.80	m
Volumen	79.80	m ³

b) Dique de contención para 1 tanque de día de 3 m³

Dimensión	Valor	Unidad
Ancho	5.50	m
Largo	5.50	m
Alto	0.20	m
Volumen	6.05	m ³

c) Dique de contención para bombas de trasvase de ácido sulfúrico

Dimensión	Valor	Unidad
Ancho	5.00	m
Largo	5.50	m
Alto	0.20	m
Volumen	5.50	m ³

El diseño de los diques es aislado con la finalidad de garantizar que se les pueda realizar un mantenimiento preventivo o correcto de forma eficiente y segura. Sin embargo, se considera que estos compartirán pared con la finalidad de que



los sistemas se encuentren lo más cercano posible, manteniendo un arreglo tal como se muestra en el documento del arreglo general del sistema.

6. Determinación del Número de Reynolds

Con el objetivo de verificar la condición del régimen hidráulico en la caja de llegada del tanque de entrega, se calculó el número de Reynolds (Re) a partir de los parámetros característicos del flujo. Se consideró un radio hidráulico (R) de 1.84 m y una velocidad media de 0.0714 m/s, resultado en un valor de:

$$Re = 131,376 \quad (Re > 4,000)$$

Este resultado confirma que el flujo es claramente turbulento, de acuerdo con los criterios definidos en la literatura técnica (Crane TP-410 y Metcalf & Eddy), donde se establece que para valores de $Re > 4,000$, el régimen es completamente turbulento.

Al ingresar al tanque, el agua forma un chorro libre a alta velocidad, que a medida que avanza entrena agua circundante, lo que provoca un aumento en la sección transversal del flujo y una consecuente disminución de la velocidad. Al alcanzar la superficie libre, el chorro experimenta una alteración en su dirección y momento, generando una región de mezcla turbulenta caracterizada por alta disipación de energía cinética.

Esta condición puede ser estratégicamente aprovechada como zona de contacto para el ajuste de pH, ya que la mezcla turbulenta favorece la dispersión rápida y homogénea del reactivo químico (ej. ácido o álcali), sin necesidad de un equipo adicional de agitación. La turbulencia inducida por el chorro contribuye así a una mejor eficiencia en el consumo de reactivos y uniformidad del tratamiento químico.

7. Consideraciones Generales

- a) Los cálculos presentados son para el tratamiento de $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ que equivalen a un solo tren, por lo tanto, se requieren 4 trenes similares para el tratamiento de $10 \text{ m}^3/\text{s}$.



b) Para el almacenamiento y conducción de ácido sulfúrico al 98%, se seguirá la recomendación de la norma NACE SP0204 y se utilizará acero al carbón para el manejo seguro de dicho reactivo. Las líneas de conducción serán de Acero al Carbón Ced 40 y serán montadas sobre un rack fabricado en acero al carbón con recubrimiento epoxico. Las tuberías fueron calculadas y se encuentran en la Memoria de Cálculo Hidráulica de acuerdo a las recomendaciones del libro Crane Co. (2018).

8. Bibliografía

- Crane Co. (2018). Flow of Fluids Through Valves, Fittings, and Pipe (Technical Paper No. 410). Crane Engineering.
- Kawamura, S. (2000). Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Metcalf & Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2014). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery (5th ed.). McGraw-Hill Education
- National Association of Corrosion Engineers (NACE). (2004). NACE SP0204-2004: Standard Practice – Design, Fabrication, and Materials for Insulated and Uninsulated Vessels and Equipment in Sulfuric Acid Service (formerly RP0294). NACE International.
- Davies, M. (2005). Materials selection for sulfuric acid. Materials Technology Institute of the Chemical Process Industries, Inc. ISBN 1-57698-035-9.
- Korb, L. J., & Davis, J. R. (Eds.). (1987). ASM Handbook, Volume 13: Corrosion. ASM International.
- Dillon, C. P., & Pollock, W. I. (1999). Materials selector for Hazardous Chemicals. (end ed.) Materials technology Institute of the Chemicals Process Industries.
- National Association of Corrosion Engineers (NACE). (2001). NACE RP0391-2001: Materials for the handling and storage of commercial concentrated (90-100%) sulfuric acid at ambient temperatures. NACE International.

_____ fin del documento _____

