CÓDIGO ENSAYO	
PROGRAMA	QUÍMICA APLICADA A LA INDUSTRIA
NORMA DE COMPETENCIA	Aplicar técnicas instrumentales de análisis de acuerdo a los protocolos y naturaleza de la muestra.
RESULTADOS DE APRENDIZAJE	Cuantificar analitos según técnica analítica y requerimientosdel ensayo.

1. Introducción

El agua es el recurso más crítico en cualquier proceso industrial, y su calidad química determina directamente la eficiencia operativa, la seguridad de los equipos y la viabilidad de los procesos. Dentro de los parámetros que definen esta calidad, la alcalinidad ocupa un lugar central: es la capacidad del agua para resistir cambios bruscos de pH, actuando como sistema amortiguador natural frente a la adición de ácidos o bases.

En la industria, la alcalinidad tiene consecuencias directas y medibles. En sistemas de calderas, una alcalinidad adecuada protege las superficies metálicas de la corrosión ácida y favorece la formación de películas pasivantes; una alcalinidad excesiva puede causar fragilización cáustica y arrastre de sólidos al vapor. En torres de enfriamiento, controlar la alcalinidad permite prevenir incrustaciones de carbonato de calcio (sarro) que reducen la transferencia de calor y obstruyen tuberías. En procesos de tratamiento de aguas residuales, la alcalinidad es indispensable para mantener activa la biomasa de los reactores biológicos.

La alcalinidad se origina principalmente en tres especies: hidróxidos (OH^-), carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^-). Su determinación analítica se realiza por volumetría ácido-base usando dos puntos de equivalencia: el punto fenolftaleína (pH ≈ 8,3), que cuantifica la alcalinidad P, y el punto naranja de metilo (pH ≈ 4,5), que cuantifica la alcalinidad total. La combinación de ambos valores permite identificar qué especies alcalinas están presentes y en qué proporciones, información esencial para el control y tratamiento del agua.

En esta práctica se determinará la alcalinidad de cuatro tipos de agua representativos del entorno industrial: agua de caldera, agua de torre de enfriamiento, agua potable de llave y agua de lluvia. Para garantizar la confiabilidad de los resultados, el ácido sulfúrico titulante será previamente estandarizado con carbonato de sodio anhidro, patrón primario de alta pureza que los aprendices ya conocen de la práctica anterior.

2. Marco Teórico

Se recomienda consultar, desarrollar y registrar los siguientes puntos como marco teorico, antes de iniciar el trabajo experimental:

- Defina alcalinidad del agua. Explique por qué se expresa en mg de $CaCO_3$ por litro y cuál es el significado de esta unidad equivalente.
- Describa las tres formas de alcalinidad: por hidróxidos (OH^-), por carbonatos (CO_3^{2-}) y por bicarbonatos (HCO_3^-). ¿En qué rangos de pH predomina cada una?

- Explique la diferencia entre Alcalinidad P (fenolftaleína) y Alcalinidad Total (naranja de metilo). ¿Qué reacciones ocurren en cada punto de equivalencia?
- Con la tabla de relaciones P/M, explique cómo identificar las especies presentes: ¿qué significa que P = 0? ¿que P = M? ¿que P > M/2?
- ¿Por qué el agua de lluvia tiene alcalinidad muy baja o nula? Relacione con el CO_2 atmosférico disuelto y el fenómeno de lluvia ácida.
- Derive la fórmula: Alcalinidad (mg $CaCO_3$/L) = (V × N × 50.000) / V_muestra. Explique de dónde proviene el factor 50.000 y qué representa el equivalente del $CaCO_3$.
- Escriba la reacción balanceada entre Na_2CO_3 y H_2SO_4 que se utiliza en la estandarización del ácido titulante. Justifique por qué el factor de equivalencia del Na_2CO_3 es 2.
- Consulte las fichas de seguridad (SDS) del H_2SO_4, Na_2CO_3, fenolftaleína y naranja de metilo. Elabore las tarjetas de emergencia para cada reactivo.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la alcalinidad total y la alcalinidad P de cuatro muestras de agua de origen industrial, mediante volumetría ácido-base, previa estandarización del ácido sulfúrico titulante.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estandarizar la solución de H_2SO_4 ~0,02 N frente al patrón primario Na_2CO_3.
- Aplicar correctamente los procedimientos de valoración ácido-base con indicadores fenolftaleína y naranja de metilo.
- Calcular la alcalinidad P y alcalinidad total de cada muestra, expresada en mg $CaCO_3$/L.
- Identificar las especies alcalinas presentes (OH^-, CO_3^{2-}, HCO_3^-) en función de los resultados.
- Emplear las buenas prácticas de laboratorio y calcular estadísticos de precisión (promedio, s, CV%).

4. Materiales

Por grupo de trabajo:

- 1 bureta de 50 mL con pinza
- 4 pipetas volumétricas de 10 mL
- 3 erlenmeyers de 250 mL
- 1 vidrio de reloj | 1 espátula | 1 frasco lavador
- 1 agitador de vidrio | 1 pipeteador

5. Instrumentos

a) Balanza analítica.
b) Plancha de calentamiento

6. Reactivos

a. Carbonato de sodio anhidro (Na_2CO_3), grado analítico.
b. Ácido sulfúrico (H_2SO_4) ~0,02 N.
c. Fenolftaleína (indicador preparado al 1%).
d. Naranja de metilo (indicador preparado al 0,1%).
e. Agua destilada tipo I.

7. Elementos de Protección Personal (EPP) y dispositivos de seguridad

Para la realización de esta práctica es necesario el uso de los siguientes EPP y dispositivos de seguridad:

a. Cabina de extracción.
b. Fuente lava ojos.
c. Kit de derrames.
d. Bata blanca de laboratorio.
e. Gafas de seguridad.
f. Guantes de nitrilo.
g. Cofia.

8. Condiciones de seguridad

Use los EPP permanentemente mientras permanece dentro del laboratorio. Nose retire los EPP hasta que haya abandonado definitivamente el laboratorio.

9. Desarrollo de la Practica

PARTE 1: PREPARACIÓN DE DISOLUCIONES:

PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE H_2SO_4 ~0,02 N

Prepare 200 mL de una solución de ácido sulfúrico 0,02 N en agua destilada.

1. Realice los cálculos necesarios para determinar el volumen de H_2SO_4 concentrado (densidad 1,84 g/mL, pureza 98%) que se requiere para preparar la solución del enunciado.
2. Marque un balón aforado de 200 mL como "Solución H_2SO_4 0,02 N".
3. Adicione agua destilada al balón aforado hasta aproximadamente la mitad de su capacidad.
4. Transfiera el volumen calculado de H_2SO_4 concentrado con ayuda de una pipeta graduada, vertiendo el ácido lentamente por las paredes del balón dentro de la cabina de extracción. Nunca agregue agua sobre el ácido concentrado.
5. Homogenice la solución tapando el balón y agitando con cuidado.
6. Afore el balón con agua destilada hasta la línea de enrase, tape y homogenice nuevamente.
7. Espere a que la solución alcance temperatura ambiente antes de proceder a la estandarización.

PARTE 2: VOLUMETRÍAS:

ESTANDARIZACIÓN DEL H_2SO_4 ~0,02 N CON Na_2CO_3

Estandarización de la solución de H_2SO_4 ~0,02 N con patrón primario Na_2CO_3.

1. Secar el carbonato de sodio anhidro (Na_2CO_3) en estufa a 270–300 °C durante 1 hora. Enfriar completamente en desecador antes de pesar.
2. Pese un vidrio de reloj limpio y seco; a continuación, oprima el botón TARA de la balanza analítica.
3. Pese entre xxx g de Na_2CO_3, registrando todas las cifras que entrega la balanza con 4 decimales.
4. Transfiera cuantitativamente la masa de Na_2CO_3 a un erlenmeyer de 250 mL con ayuda de una espátula y el frasco lavador cargado con agua destilada.
5. Disuelva el Na_2CO_3 adicionando aproximadamente 50 mL de agua destilada y agitando vigorosamente hasta disolución completa.
6. Adicione 3–5 gotas de solución indicadora de naranja de metilo al 0,1%. La solución tomará color amarillo.
7. Cargue la bureta de 50 mL con la solución de H_2SO_4 ~0,02 N preparada. Elimine las burbujas de aire de la punta de la bureta.
8. Titule gota a gota con agitación constante hasta que se produzca un viraje persistente de amarillo a color salmón-rosado que permanezca por al menos 30 segundos.
9. Registre el volumen de H_2SO_4 gastado con precisión de 0,05 mL.
10. Calcule la normalidad real del ácido con la fórmula indicada en la sección de cálculos.
11. Repita el procedimiento dos veces más para completar el triplicado. El CV% debe ser menor al 1%.

Tabla A — Datos de Estandarización del H_2SO_4:

Ensayo	**Masa Na_2CO_3 (g) ±0,00__**	**V H_2SO_4 (mL) ±0,00__**	**N calculada ±0,00__**	**Observ.**
1				
2				
3				
PROMEDIO				
DESV. ESTÁNDAR				
CV %				

Normalidad promedio del ácido: N = _____ N

PARTE 3: DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD EN MUESTRAS

El instructor dispondrá las cuatro muestras de agua que serán valoradas por los grupos. Las muestras corresponden a: agua de caldera, agua de torre de enfriamiento, agua potable (llave) y agua de lluvia.

Muestra	**Características**

CALDERA	Alta alcalinidad — OH^-, CO_3^{2-}, HCO_3^- presentes — pH 10,5–11,5
TORRE	P = 0 (solo HCO_3^-) — Alcalinidad 100–200 mg/L — pH 7,5–8,5
LLAVE	Potable — P = 0 — Alcalinidad 30–150 mg/L — pH 6,5–8,5
LLUVIA	Muy baja o nula — < 10 mg/L — pH 5,5–6,5 (ligeramente ácida)

Determinación de Alcalinidad P (fenolftaleína) y Alcalinidad Total

Para CADA una de las cuatro muestras, realizar por DUPLICADO el siguiente procedimiento:

1. Mida EXACTAMENTE XXX mL de la muestra de agua con ayuda de una pipeta aforada.
2. Transfiera cuantitativamente el volumen medido a un erlenmeyer de 250 mL.
3. Adicione entre 40 y 50 mL de agua destilada a la muestra para facilitar la observación del viraje.
4. Homogenice la mezcla agitando suavemente.
5. Adicione tres (3) gotas de solución indicadora de fenolftaleína al 1%.
6. Observe el color: si la solución toma color ROSA, proceda al paso 7. Si permanece incolora, la Alcalinidad P = 0; anote $V_1 = 0$ y continúe directamente al paso 10.
7. Titule con la solución de H_2SO_4 estandarizada, adicionando gota a gota con agitación constante, hasta que el color rosa desaparezca completamente y la solución quede incolora.
8. Registre el volumen de H_2SO_4 gastado hasta este punto: este es V_1 (mL), que corresponde a la Alcalinidad P.
9. Sin descartar la solución, adicione tres (3) gotas de solución indicadora de naranja de metilo al 0,1%. La solución tomará color amarillo.
10. Continúe titulando con H_2SO_4 estandarizado gota a gota hasta que se produzca un viraje persistente de amarillo a color salmón-rosado.
11. Registre el volumen TOTAL de H_2SO_4 gastado desde el inicio de la titulación: este es V_2 (mL), que corresponde a la Alcalinidad Total.
12. Calcule la Alcalinidad P y la Alcalinidad Total utilizando las fórmulas de la sección 10.
13. Repita el procedimiento con la segunda réplica de la misma muestra.
14. Repita los pasos 1 al 13 para cada una de las cuatro muestras.

Fórmulas de Cálculo (para 10 mL de muestra)

$$\textbf{Alcalinidad P (mg } CaCO_3\textbf{/L)} = (V_1 \times N \times 50.000) / 10$$

$$\textbf{Alcalinidad Total (mg } CaCO_3\textbf{/L)} = (V_2 \times N \times 50.000) / 10$$

Donde: V_1 = volumen de H_2SO_4 gastado hasta fin de fenolftaleína (mL) | V_2 = volumen total de H_2SO_4 gastado hasta fin de naranja de metilo (mL) | N = normalidad real del ácido estandarizado | 50.000 = equivalente de $CaCO_3$ (50 g/eq) × 1000 mg/g

Ejemplo: Si V_2 = 4,5 mL y N = 0,02 N: Alcalinidad Total = (4,5 × 0,02 × 50.000) / 10 = 450 mg $CaCO_3$/L

Registro de Datos por Muestra

Muestra 1: Agua de CALDERA

Ensayo	V muestra	V_1 P (mL)	V_2 Total (mL)	Alc. P mg/L	Alc. M mg/L
1	10,0 mL				
2	10,0 mL				
PROMEDIO					

Especies: OH^- = _____ CO_3^{2-} = _____ HCO_3^- = _____

Muestra 2: Agua de TORRE DE ENFRIAMIENTO

Ensayo	V muestra	V_1 P (mL)	V_2 Total (mL)	Alc. P mg/L	Alc. M mg/L
1	10,0 mL				
2	10,0 mL				
PROMEDIO					

Especies: HCO_3^- = _____ (Alcalinidad P esperada = 0)

Muestra 3: Agua POTABLE (llave)

Ensayo	V muestra	V_1 P (mL)	V_2 Total (mL)	Alc. P mg/L	Alc. M mg/L
1	10,0 mL				
2	10,0 mL				
PROMEDIO					

Especies: HCO_3^- = _____ mg/L

Muestra 4: Agua de LLUVIA

Ensayo	V muestra	V_1 P (mL)	V_2 Total (mL)	Alc. P mg/L	Alc. M mg/L
1	10,0 mL				
2	10,0 mL				
PROMEDIO					

Especies: Prácticamente ninguna (alcalinidad muy baja o nula).

10. Cálculos y expresión de resultados

a. Organice los datos en las tablas de registro, donde se encuentre cada una de las mediciones realizadas (pesos, volúmenes, observaciones) en cada numeral.
b. Realice los cálculos de concentración real de las soluciones expresadas en normalidad.
c. Calcule el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación detodos los ensayos de estandarización
d. Compare los resultados obtenidos con el valor esperado de acuerdo con sus cálculos previstos.
e. Realice un análisis de resultados para cada ensayo realizado, identificando a que se debe el resultado obtenido y que implicaciones tiene.

11. Preguntas de reflexión post laboratorio:

¿Cuál muestra tiene mayor alcalinidad y por qué?

¿Por qué el agua de torre NO presenta alcalinidad P?

Compare agua de lluvia vs agua de llave. ¿Qué implica esta diferencia?

¿Por qué es necesaria alta alcalinidad en calderas?

Manejo de residuos peligrosos

Teniendo en cuenta el diagrama de disposición de residuos peligrosos del laboratorio, establezca en que recipiente disponer los residuos generados.

12 Referencias Bibliográficas

- APHA, AWWA, WEF. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd Ed. Method 2320 B.
- Kemmer, F. N. (1988). The NALCO Water Handbook. 2nd Ed. McGraw-Hill.
- Sawyer, C. N., McCarty, P. L., Parkin, G. F. (2003). Chemistry for Environmental Engineering and Science. 5th Ed. McGraw-Hill.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 2115 de 2007. República de Colombia.

13. Anexos

No aplica.

CONTROL DE DOCUMENTO

	Nombre	**Cargo**	**Dependencia**	**Fecha**
Elaboración	Orlando Duque	Instructor	Química aplicada ala industria	marzo/2026
Revisión				
Aprobación				