

# Métodos de análisis físicos y espectrofométricos para el análisis de aguas residuales

Alma Deloya Martínez<sup>1</sup>

*La absorción y la reemisión de la luz también se produce con las especies disueltas. Los tipos de interacción que existen entre la luz y las partículas dependen del tamaño de la partícula, de su forma y de la longitud de onda de la luz incidente.*

## Palabras clave

Aguas residuales, Efluente, Turbiedad, Oxígeno disuelto, Sólidos, DQO, DBO, Nitrógeno amoniacal, Fosfato.

## Resumen

Los métodos de análisis son un factor importante en la caracterización de aguas residuales y en el control de efluentes de sistemas de tratamiento de aguas.

Se resumen algunas técnicas simples para el análisis de aguas residuales con el propósito de brindar algunos métodos sencillos para determinar: turbiedad, color, sólidos, oxígeno disuelto, DQO, nitrógeno amoniacal y fosfatos, entre otros.

## Introducción

Cuando la luz interactúa como una suspensión de partículas en una solución acuosa, se producen varios fenómenos. La luz puede interactuar con los electrones de una partícula y reemitirse (dispersarse) en varias direcciones con la misma longitud de onda incidente. Algo de la luz puede

emitirse con otra longitud de onda mayor que la luz incidente; algo de la energía se puede emitir en su totalidad como radiación de longitud de onda  $\lambda$  larga (calor). La absorción y la reemisión de la luz también se produce con las especies disueltas. Los tipos de interacción que existen entre la luz y las partículas dependen del tamaño de la partícula, de su forma y de la longitud de onda de la luz incidente. Las interacciones casi siempre dan lugar a emisiones anisotrópicas (polarizadas)

La turbiedad, en general, se define como la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz se disperse y no se transmita a través de la suspensión. Las interacciones en las suspensiones naturales son complejas y el término “turbiedad” con frecuencia se utiliza en sentido cualitativo. Una definición cuantitativa sería “la inversa de la longitud de una solución que, por dispersión, reduce la intensidad de un rayo de luz a  $1/2.718$  de su valor incidente”.

En partículas con diámetros más pequeños que  $1/20$  de la longitud de onda de la luz incidente, la teoría de Rayleigh de la dispersión de la luz indica que la intensidad de la luz dispersa ( $I_s$ ) se relaciona con el

1. MSc. Departamento de Química, ITCR. Departamento de Biología, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: adeloya@itcr.ac.cr

volumen de la partícula (V) al número de partículas, y a la longitud de onda ( $\lambda$ ) por medio de la ecuación :

$$\frac{I_s \alpha V^2 u}{\lambda^4}$$

Al incrementarse el tamaño de la partícula por encima de un diámetro de  $1/20 \lambda$ , la intensidad de la luz dispersa es una función compleja del tamaño de la partícula y del ángulo de emisión de la luz. Para un número constante de partículas y una longitud de onda determinada ( $I_s$ ) se incrementa a un máximo y, después, disminuye a medida que el tamaño de partícula aumenta.

Para medir la turbiedad se pueden utilizar dos métodos instrumentales. Puede medirse la intensidad del rayo de luz transmitido y compararse con la intensidad del rayo de luz incidente. Otra forma sería medir la intensidad del haz disperso (métodos nefelométricos). Para suspensiones diluidas, la relación entre la intensidad de luz transmitida y la concentración de partículas tiene la forma de la ley de Beer-Lambert si no ocurren cambios en la naturaleza de la suspensión a medida que cambia la concentración de partículas. Cuando el número de partículas aumenta, la posibilidad de una dispersión múltiple de luz también aumenta, lo que provoca desviaciones en la relación de Beer-Lambert.

Para suspensiones muy diluidas, la disminución en la intensidad de la luz a medida que pasa a través de la suspensión es muy pequeña; así pues, la determinación de la turbiedad midiendo la luz transmitida no es un procedimiento sensible. El método más sensible para determinar la turbiedad es medir la luz dispersa. Esto casi siempre se hace en ángulo recto al rayo incidente.

Un método visual para medir la turbiedad (el turbidímetro de bujía de Jackson) se basa en la observación de la desaparición de una imagen clara de la llama de una bujía a través de una columna de la muestra. La medida depende tanto de la absorción

y la dispersión de la luz que entra a la muestra, como de las características del ojo humano. La unidad de medida en este método es la unidad de turbiedad de Jackson (JTU) y sólo se relaciona en concepto con la definición rigurosa que se dio antes sobre la turbiedad.

El turbidímetro de bujía de Jackson está diseñado para medir turbiedad entre 25 y 1000 unidades. Las soluciones que tienen una turbiedad mayor que esta deben diluirse; las soluciones con turbiedad menor se analizan mejor por medio de un instrumento de dispersión luminosa, como el turbidímetro de Hach o un espectrofotómetro con equipo nefelométrico (dispositivo adjunto para medir la luz dispersa). El turbidímetro de bujía de Jackson se estandariza con diluciones de una suspensión turbia de la misma agua natural que se prueba o mediante una suspensión de caolín. Los instrumentos de transmisión y nefelométrico se estandarizan con una suspensión patrón del polímero formacina. En los nefelómetros la turbiedad se lee como “Unidades de turbidez nefelométrica” o “NTU”. Debe hacerse notar que no hay razón para que exista ninguna relación fundamental entre los valores de turbiedad de una suspensión medida por ninguna de las tres técnicas-visual, por transmisión y nefelométrica.

Sin embargo, puede establecerse correlaciones empíricas en ciertos niveles de turbiedad y para suspensiones individuales.

### Material y equipo

- Espectrofotómetro
- Probeta de 100 ml
- Agitador de vidrio
- Guantes
- Agua destilada

### Procedimiento

Use guantes y gabacha durante el experimento.

Siga las instrucciones del equipo y la explicación del profesor.

Mida la turbiedad de las dos muestras asignadas.

Diluya cada una de las muestras (1:1),(1:2),(1:4) y mida la turbiedad.

### Discusión

1. ¿Cómo influye la presencia de color en la muestra?
2. ¿Se obtiene valores más altos o más bajos? ¿Por qué?
3. Haga un cuadro y un gráfico en función de la concentración con los resultados. Comente y discuta.

*Es importante considerar que el método no es apto para expresar el color de aguas residuales y, en general, de muestras cuyos patrones de color sean diferentes al de las soluciones de Pt/Co, (pe, vertimientos industriales coloreados, etc.).*

### Determinación de color en el agua

#### Introducción

El color en el agua, puede estar asociado a sustancias en solución (color verdadero) o a sustancias en suspensión (color aparente). El primero es el que se obtiene a partir de mediciones sobre muestras filtradas por membranas de 0,45  $\mu\text{m}$ ; mientras que el segundo proviene de las mediciones directas sobre muestras sin filtrar.

Son causantes naturales del color en el agua, el material vegetal en descomposición, tipo ligninas, taninos, ácidos húmicos, fúlvicos, algas, etc. y algunos minerales disueltos de hierro y manganeso. En vertimientos industriales, o en cuerpos de agua contaminados por estos, el color se asocia necesariamente con el tipo particular de actividad industrial que origina el vertimiento. El color predominante en el primer caso, varía desde una tonalidad amarilla hasta una tonalidad café; en el segundo caso, el color puede ser muy variable, dependiendo de la actividad asociada con el vertimiento.

Teniendo en cuenta que en las aguas naturales los colores predominantes varían, desde diferentes tonalidades amarillas

hasta colores pardos o café claro, y al hecho mismo de que estas tonalidades pueden ser simuladas con bastante aproximación por soluciones de cloroplatinato de potasio a diferentes concentraciones, se ha adoptado esta referencia para expresar la magnitud del color en muestras de aguas naturales.

La unidad de color adoptada internacionalmente como referencia, es la equivalente a una solución de cloroplatinato de sodio que contenga 1,0 mg de platino por litro de solución. La escala, para medición directa, se extiende desde 1 hasta aproximadamente 500 mg/l de Pt.

Esta forma de expresar el color se conoce más genéricamente como la “escala de Hazen” y se expresa en términos de unidades de Pt/Co, debido a que a las soluciones de platino, generalmente se les adiciona una pequeña cantidad de cobalto, con el objeto de intensificar el color del platino.

Con el propósito de obviar el uso de soluciones en la determinación del color, se han diseñado equipos en los que se compara el color de las muestras, ya no frente a la coloración de soluciones de Pt/Co, sino a “discos coloreados” cuyos colores se corresponden con la escala de Hazen. Las mediciones se pueden realizar por colorimetría visual o por fotometría, utilizando un fotómetro capaz de medir entre 575 y 585 nm, y un conjunto de patrones de Pt/Co.

No es adecuado hacer diluciones para expresar el color de las muestras altamente coloreadas, debido a que el color de la muestra diluida no es directamente proporcional al grado de dilución. En estos casos es preferible expresar el resultado como  $> 500$  unidades de Pt/Co.

Es importante considerar que el método no es apto para expresar el color de aguas residuales y, en general, de muestras cuyos patrones de color sean diferentes al de las soluciones de Pt/Co, (pe, vertimientos industriales coloreados, etc.).

Debido a que el color suele estar asociado a las sustancias orgánicas presentes, y a que estas pueden degradarse fácilmente tanto por procesos físicos como biológicos, las mediciones de color deben realizarse directamente en el sitio de muestreo. Cuando esto no es posible, se preservan las muestras por refrigeración y se realizan las mediciones dentro de las 48 horas siguientes a la realización del muestreo.

### Procedimiento

Dependiendo de la instrumentación disponible, puede optarse por uno u otro método. Para mediciones en campo generalmente se opta por un kit de color. La mayoría de estos kits consta de una escala de color plastificada que va desde los 0 hasta 150 unidades de Pt/Co o unidades Hazen, y de un par de celdas para la comparación. El procedimiento consiste en llenar ambas celdas hasta una misma altura, una con la muestra y otra con agua destilada, y en desplazar ambas celdas sobre la escala de color, hasta cuando la coloración de ambas celdas, vistas desde arriba, presenten una misma coloración.

Cuando se mide el color mediante un fotómetro, el procedimiento es aún más simple ya que la mayoría de estos equipos traen en sus memorias una serie de “curvas de calibración” que facilitan la medición. Para la mayoría de los casos, el procedimiento se reduce simplemente a la colocación en el equipo, de una celda fotométrica que contiene un blanco de agua destilada y de otra celda que contiene la muestra.

Para eliminar la absorción de luz por parte de las celdas y que dicha absorción altere las medidas, las celdas fotométricas se construyen de un material transparente a la luz con la que se realizan las mediciones. Este material es el cuarzo que, aunque transparente y resistente al rayado, es sumamente frágil al golpe. Por ello es indispensable tener un particular cuidado con las celdas del fotómetro.

### Material y equipo

- Agua desmineralizada, para el lavado de las celdas, antes y después de cada determinación. Estas celdas deben quedar ligeramente húmedas para evitar formación de depósitos en las paredes y, principalmente, en el fondo, ya que esto altera las mediciones.
- Soluciones patrón de cloroplatinato de potasio en la escala de 2 a 200 mg/l, para realizar las curvas de calibración. Se sugieren las siguientes series para muestras con diferente intensidad de color:
- Soluciones patrón de 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 y 10,0 UPC, para muestras de agua dulce poco coloreadas.
- Soluciones patrón de 5,0; 10,0; 15,0; 20,0 y 25,0 UPC, para muestras medianamente coloreadas.
- Soluciones patrón de 10,0; 20,0; 30,0; 40,0 y 50,0 UPC, para muestras muy coloreadas.
- Soluciones patrón de 40,0; 60,0; 80,0; 100,0 y 120,0 UPC, para muestras altamente coloreadas.
- Equipo para filtración al vacío.
- Membranas de filtración de 0,45  $\mu$ .
- Tubos Nesler de aproximadamente 15 cm de longitud.
- Frasco lavador.
- Fotómetro capaz de medir a longitudes de onda comprendidas entre 575 y 585 nm.
- Celdas de cuarzo.

### Procedimiento

1. Purgue una celda limpia de cuarzo limpia con la muestra.
2. Llène con la celda con la muestra hasta la marquilla.
3. Llène la otra celda de cuarzo con un blanco de agua destilada.
4. Si utiliza un fotómetro, marque el método de análisis y siga los procedimientos indicados en la pantalla del instrumento. Lea y registre el dato.

## Determinación de los sólidos totales

### Procedimiento

1. Marque cuatro vasos de precipitado con E (entrada al sistema de tratamiento), TA (tanque de aireación), LR (lodo recirculado), S (salida del sistema de tratamiento).
  2. Coloque los vasos de pp en una estufa (horno) durante 3 horas a 103-105 °C.
  3. Enfríe los vasos de pp en un desecador por lo menos 30 minutos o hasta antes de usarlos.
  4. Antes de usar pese los vasos de pp y anote su peso en la hoja de control.
  5. Mida 100 ml de la muestra bien mezclada de la entrada en una probeta y transfírela al vaso de pp marcado con E.
  6. Mida 100 ml de cada una de las muestras bien mezclada y transfiera cada muestra a cada uno de los respectivos vasos previamente desecados y marcados con TA, lodo recirculado, (LR) y salida (S).
  7. Coloque los vasos de pp en la estufa(horno) a 103-105 °C durante, por lo menos, 10 horas para alcanzar el peso constante.
  8. Saque los vasos de pp de la estufa, enfríe en el desecador por lo menos 30 minutos y pese los vasos. Anote los pesos de cada uno de los residuos secos en la hoja de control.
2. Coloque los vasos de pp en una estufa (horno) durante 3 horas a 103-105 °C.
  3. Enfríe los vasos de pp en un desecador por lo menos 30 minutos o hasta antes de usarlos.
  4. Antes de usar pese los vasos de pp y anote su peso en la hoja de control.
  5. Filtre 100 ml de la muestra bien mezclada de la entrada en una probeta y transfírela al vaso de pp marcado con E.
  6. Filtre 100 ml de cada una de las muestras restantes bien mezclada y transfiera cada muestra a cada uno de los respectivos vasos previamente desecados y marcados con, TA, LR y S
  7. Coloque los vasos de pp en la estufa (horno) a 103-105 °C durante, por lo menos, 10 horas para alcanzar el peso constante.
  8. Saque los vasos de pp de la estufa, enfríe en el desecador por lo menos 30 minutos y pese los vasos. Anote los pesos de cada uno de los residuos secos en la hoja de control.

*Los sólidos totales representan la totalidad de material suspendido y disuelto que contiene el agua, y se determinan evaporando y secando la muestra de agua a una temperatura definida (103-105°C).*

### Cálculos

Para cada muestra realice los cálculos siguientes: Al peso del vaso con el residuo seco reste el peso del vaso sin muestra, divida el resultado ente el volumen de muestra y multiplique por mil. El resultado se expresa en mg/l.

## Determinación de los sólidos filtrables (disueltos)

### Procedimiento

1. Marque cuatro vasos de precipitado con E (entrada al sistema de tratamiento),

TA (tanque de aireación), LR (lodo recirculado), S (salida del sistema de tratamiento).

2. Coloque los vasos de pp en una estufa (horno) durante 3 horas a 103-105 °C.
3. Enfríe los vasos de pp en un desecador por lo menos 30 minutos o hasta antes de usarlos.
4. Antes de usar pese los vasos de pp y anote su peso en la hoja de control.
5. Filtre 100 ml de la muestra bien mezclada de la entrada en una probeta y transfírela al vaso de pp marcado con E.
6. Filtre 100 ml de cada una de las muestras restantes bien mezclada y transfiera cada muestra a cada uno de los respectivos vasos previamente desecados y marcados con, TA, LR y S
7. Coloque los vasos de pp en la estufa (horno) a 103-105 °C durante, por lo menos, 10 horas para alcanzar el peso constante.
8. Saque los vasos de pp de la estufa, enfríe en el desecador por lo menos 30 minutos y pese los vasos. Anote los pesos de cada uno de los residuos secos en la hoja de control.

### Cálculos

Para cada muestra realice los cálculos siguientes: al peso del vaso con el residuo seco reste el peso del vaso sin muestra, divida el resultado entre el volumen de muestra y multiplique por mil. El resultado se expresa en mg/l.

## Otro procedimiento para la determinación de sólidos totales (ST)

### Introducción

Los sólidos totales representan la totalidad de material suspendido y disuelto que contiene el agua, y se determinan evaporando y secando la muestra de agua a una temperatura definida (103-105°C).

## Procedimiento

1. En una cápsula de porcelana puesta previamente a peso constante ( $P_1$ ) coloque 50 ml de muestra y llévelo a evaporación total en la estufa, la cual debe mantener una temperatura de 105°C.
2. Terminada la evaporación de la muestra, enfríe la cápsula en el desecador por un tiempo aproximado de 1 hora y pese, nuevamente, para obtener el peso dos ( $P_2$ ).
3. Las ppm de sólidos totales se calculan con la siguiente fórmula:

$$\text{mg/L(ST)} = \frac{(P_2 - P_1) 10^6}{V_1}$$

En donde:

$P_1$  = Masa de la cápsula de porcelana en condiciones de peso constante, en gramos.

$P_2$  = Masa de la cápsula de porcelana de porcelana después de la evaporación, en gramos.

$V_1$  = Volumen de muestra para el análisis en ml.

$10^6$  = Factor de conversión.

## Determinación de oxígeno disuelto (OD)

### Procedimiento

1. Encienda el medidor de oxígeno, por lo menos, 10-15 minutos antes de realizar la prueba.
2. Tome 300 ml de muestra del tanque de aireación y etiquétela con T.A.
3. Tome 300 ml de la salida final (efluente vertido al alcantarillado) y etiquétela con S.
4. Una vez tomadas las muestras, debe leerse el OD dentro de la primera media hora después del muestreo.

Deje sedimentar las muestras por 10 minutos.

6. Introduzca el electrodo para OD en el agua sobrenadante de la muestra S (efluente) y anote el valor de OD en mg/L, la hoja de control.
7. Enjuague el electrodo con agua destilada y séquelo con papel toalla suavemente.
8. Introduzca el electrodo en el agua sobrenadante de la muestra T.A. (tenga cuidado de que el electrodo no toque el lodo sedimentado). Anote el resultado de OD en mg/L, en la hoja de control.

## Determinación del pH

### Procedimiento

1. Mida 100 ml de cada una de las muestras a analizar de la E, T.A., sedimentador y salida.
2. Deje sedimentar las muestras 10 minutos.
3. Comenzando con la muestra de la salida, introduzca el electrodo a cada muestra en el agua sobrenadante de tal forma que el electrodo no toque el sedimento.
4. Deje el electrodo en el agua por espacio de 3-4 minutos. Anote el pH en la hoja de control.
5. Enjuague el electrodo con agua destilada y séquelo con papel toalla.

Continué midiendo el pH de las otras muestras.

Nota: Si usted mide los sólidos sedimentables, puede medir el pH en los conos Imhoff, introduciendo el electrodo con el agua sobrenadante en los primeros 30 minutos después de poner a sedimentar las muestras.

## Determinación de la demanda química de oxígeno

¡Use los anteojos de seguridad al realizar la determinación de DQO!

### Procedimiento

#### Digestión de la muestra

1. Tome una muestra por lo menos de 500 ml del agua residual que va a analizar (entrada y la salida del sistema).
2. Mientras prepara las muestras por analizar, precaliente el reactor de digestión a 150 °C.
3. Marque con un lápiz tres tubos de ensayo que contienen el reactivo para digestión de DQO, a uno con E (entrada), otro con S (salida), y el tercero con Bco (blanco), respectivamente.
4. Agite muy bien la muestra antes de medirla. Al tubo E adicione 2 ml de la muestra de entrada; al tubo S, adicione 2 ml de la muestra de salida, y al tubo Bco, adicione 2 ml de agua destilada.
5. Tape los tubos, límpielos con toalla de papel y agítelos invirtiéndolos por lo menos 6-7 veces.
6. Caliente los tubos en el reactor de digestión por 2 horas.
7. Apague el reactor de digestión y espere 20-25 minutos para que se enfríen los tubos a por lo menos 110-120 °C.
8. Invierta los tubos por lo menos 6-7 veces, cuando aún estén ligeramente calientes. Después enfríe los tubos a temperatura ambiente.

#### Determinación colorimétrica de la DQO

1. Presione PRGM.
2. Presione 17 ENTER.
3. Inserte el adaptador de DQO en el portacelda del espectrofotómetro gírelo hasta que calce en el portacelda y presione hacia abajo para insertarlo totalmente.

4. Limpie por fuera los tubos de las muestras y el Bco ya digeridas y frías. Inserte el tubo del Bco, en el adaptador. Tenga cuidado de insertarlo, empujando solamente de arriba hacia abajo, sin hacer movimiento hacia los lados.
5. Cubra o tape el tubo Bco con la tapa del espectrofotómetro y presione CERO.
6. Retire el Bco del portacelda e inserte el tubo S empujando de arriba hacia abajo.
7. Cubra el tubo S con la tapa del colorímetro y presione READ.  
Anote el resultado que aparece en la pantalla en mg/L de DQO, en la hoja de control.
8. Retire el tubo del portacelda e inserte el tubo E, empujándolo de arriba hacia abajo, tápelo y presione READ.
9. Anote el resultado que aparece en la pantalla en mg/L en la hoja de control.  
Apague el espectrofotómetro.

## Otro procedimiento para la determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en aguas es el siguiente

### Procedimiento

1. El presente método es derivado del método Standard, modificado de la siguiente manera: se han dividido las cantidades por 5 y se utiliza un tubo de digestión de 25 X 300 mm, calentado en su parte inferior, en una placa de calefacción apropiada, la cual produce condensación en las paredes del tubo, y hace innecesario el uso del refrigerante de reflujo. Esto simplifica enormemente el procedimiento y permite correr simultáneamente en una placa normal hasta 56 muestras.
2. Se toman 10 ml de muestra que puede ser pura o diluida según el valor esperado para la DQO.

3. Se colocan en un tubo de digestión, se agregan 5 ml de solución  $K_2Cr_2O_7$  0.25 N (equivalentes a 1.25ml de solución 1N +3.75 ml de  $H_2O$ ).
4. Con mucho cuidado se agregan 15ml de  $H_2SO_4$ , se pone a digerir 1 hora y 30 minutos y, seguidamente, se deja enfriar de un día para otro
5. Al otro día se diluye a 100 ml con agua, se agregan 2-3 gotas de indicador Ferroiri y se titula con Sulfato Ferroso Amoniacal (FAS)0.25 N.

### Cálculos

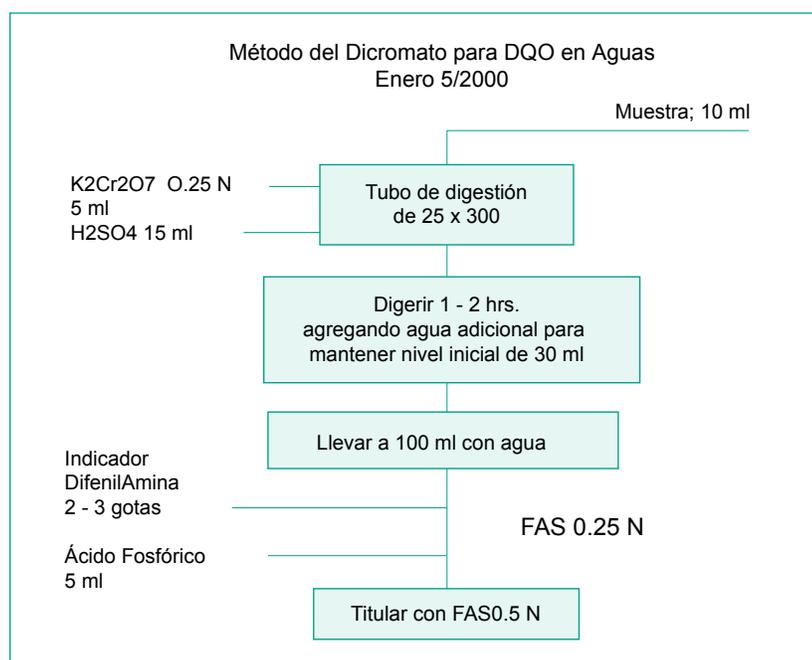
De acuerdo con el estándar par la determinación del Carbón Orgánico, 1 ml de solución de Dicromato 1N contiene 49.03 mg de  $K_2Cr_2O_7$  y oxida 3 mg de carbón equivalentes a una DQO de 8 mg de oxígeno.

$$DQO;mg/l = (1.25 - FAS \ 0.25N/2) \times 8 \times 1000/Alícuota.$$

Más genéricamente:

$$DQO; mg/l = (ml \ Dicromato \times Normalidad - ml \ de \ FAS \times Normalidad) \times 8 \times 1000/Alícuota.$$

### Esquema



A lo anterior se le debe restar el resultado de un blanco, con lo cual la fórmula queda transformada en la siguiente:

$$DQO;mg/l = (ml \ de \ FAS \times Normalidad \ en \ el \ Blanco - ml \ de \ FAS \times Normalidad \ en \ la \ muestra) \times 8 \times 1000/Alícuota.$$

### Calibración

El método se calibra con un patrón de ftalato ácido de potasio preparado como sigue:

Ftalato de potasio e hidrógeno estándar (biftalato de potasio, KHP).

1. Triture ligeramente y seque el biftalato de potasio ( $HOOC_6H_4COOK$ ) hasta peso constante a  $120^{\circ}C$ ; disuelva 425 mg en agua destilada y dilulla a 1000 ml.
2. La solución es estable por más de tres meses si se conserva refrigerada; se debe verificar la presencia o ausencia de crecimiento biológico y, en caso afirmativo, descartarla.
3. El biftalato tiene DQO teórica de 1,176mg  $O_2$ /mg y la solución tiene una DQO teórica de 500 mg  $O_2$ /L
4. Por lo tanto 10 ml de este estándar analizados deben dar un resultado de  $DQO = 500 \text{ mg/l} \pm 10 \%$  de desviación.

## Determinación de nitrógeno amoniacal

### Procedimiento

1. Llene el vaso del kit con la muestra, hasta la marca de 25 ml.
2. Adicione 2 gotas de la solución estabilizadora A-1500 y agite muy bien con la punta de la ampolla Chemets sellada.
3. Sin sacar la ampolla Chemets del vaso del kit, rómpala presionando la punta hacia el fondo del vaso, permita que se llene la ampolla, el burbujeo permitirá la agitación.

- Mezcle el contenido de la ampolla, invirtiéndola 2-3 veces. Limpie todo el líquido del vaso absorbiendo con la ampolla. Espere 1 minuto para que se desarrolle totalmente el color amarillo.
- Use el comparador de acuerdo con el rango de nitrógeno amoniacal a determinar. Si la muestra es de baja concentración, use el procedimiento A y si es de alta concentración siga el procedimiento B.

#### Variación A

Introduzca la parte plana de la ampolla en el centro del tubo comparador de baja concentración. Dirija el comparador hacia una fuente de luz brillante mientras realiza la observación. Rote el comparador hasta que el color estándar coincida con el de la ampolla.

#### Variación B

Sostenga el comparador de alta concentración en posición horizontal y diríjalo a una fuente de luz brillante. Introduzca la ampolla entre los colores estándares, moviéndola de izquierda a derecha a lo largo del comparador hasta encontrar el color que coincida con la muestra.

### Determinación de fosfatos

#### Procedimiento

- Llene el vaso del kit con la muestra, hasta la marca de 25 ml.
- Adicione 2 gotas de la solución estabilizado A-8500 y agite muy bien con la punta de la ampolla Chemets sellada.
- Sin sacar la ampolla Chemets del vaso de kit, rómpala presionando la punta hacia el fondo del vaso, permita que se llene la ampolla, el burbujeo permitirá la agitación.
- Mezcle el contenido de la ampolla, invirtiéndola 2-3 veces. Limpie todo

el líquido del vaso absorbiendo con la ampolla. Espere 2 minutos para que se desarrolle totalmente el color azul.

- Use el comparador de acuerdo con el rango de nitrógeno amoniacal a determinar. Si la muestra es de baja concentración, use el procedimiento A y si es de alta concentración siga el procedimiento B.

#### Variación A

Introduzca la parte plana de la ampolla en el centro del tubo comparador de baja concentración. Dirija el comparador hacia una fuente de luz brillante mientras realiza la observación. Rote el comparador hasta que el color estándar coincida con el de la ampolla.

#### Variación B

Sostenga el comparador de alta concentración en posición horizontal y diríjalo a una fuente de luz brillante. Introduzca la ampolla entre los colores estándares moviéndola de izquierda a derecha a lo largo del comparador hasta encontrar el color que coincida con la muestra.

### Toxicidad de las aguas residuales

#### Introducción

El ensayo que se describe a continuación se aplica para detectar y evaluar la toxicidad de las aguas residuales en lo que respecta a la vida biológica de la fuente receptora.

El ensayo detecta y evalúa la toxicidad aguda de las aguas residuales. Esta toxicidad no se debe a una DBO excesiva, sino a sustancias relativamente estables y no volátiles.

Debe destacarse que si el objetivo del ensayo biológico es valorar el efecto letal directo de las aguas residuales, debe mantenerse la concentración de OD adecuada durante los ensayos de toxicidad.

*Debe destacarse que si el objetivo del ensayo biológico es valorar el efecto letal directo de las aguas residuales, debe mantenerse la concentración de OD adecuada durante los ensayos de toxicidad.*

Por el método de ensayo que se describe a continuación se obtiene el límite de tolerancia media (LTm) definido como la concentración de A.R. (Tóxica) en la que solamente un 50% de los organismos de ensayo son capaces de sobrevivir durante un período dado de exposición.

### Objetivo

Valorar la toxicidad de las aguas residuales, determinando la concentración del agua residual que produzca la muerte del 50% de los organismos en un tiempo específico dado.

### Procedimiento

1. Prepare diluciones del agua residual en el porcentaje del volumen siguiente:
  - \*Al 40% (5)
  - \*Al 20% (4)
  - \*Al 10% (3)
  - \*Al 5 % (2)
  - \*Al 2.5% (1)

2. Introduzca 11 organismos de ensayo en cada recipiente de prueba.
3. Haga observaciones del número de organismos sobrevivientes a las 24, 48 y 96 horas.
4. Represente la concentración del A.R. y en porcentaje en volumen en relación al porcentaje de animales de ensayo sobrevivientes.

### Bibliografía

- Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, Ediciones Diaz De Santos, España, 1992.
- Chemistry for Environmental Engineering, Sawyer and Mccarty, International student Editon, USA, 1999.
- DR2000 Datalogging spectrophotometer, Hach instrument, USA, 2003.