



Universidad de La Laguna
Departamento de Ingeniería Química
y Tecnología Farmacéutica

Ingeniería Sanitaria

Manual de Prácticas

Caracterización y
tratamiento primario
del agua residual urbana

Ingeniero Técnico de Obras Públicas
2º Curso

Manual preparado por:

Dra. M.D. García Cruz

Dr. F. Jarabo Friedrich

Dr. F.J. García Álvarez

Versión de octubre de 2002

Planteamientos previos

La **contaminación del agua** se define como la alteración de su calidad que hace que no sea adecuada para la aplicación a la que se destina: abastecimiento de agua potable, sostenimiento de la fauna acuática, producción agraria e industrial, generación de energía, navegación y recreo o evacuación de residuos.

Las sustancias que pueden alterar la calidad del agua son de naturaleza variada. Por ello, para definir mejor el grado de contaminación del agua, generalmente no se procede al análisis individualizado de cada una de dichas sustancias, sino que sólo se tienen en cuenta algunas de ellas junto con unos parámetros que se han considerado como los valores más representativos de la calidad del agua, atendiendo a un punto de vista sanitario. Estos parámetros se conocen como **indicadores de contaminación**.

Los **focos de contaminación** pueden ser de origen natural (geoquímico, catastrófico) o humano (aguas domésticas, efluentes agrarios o industriales), y las aguas residuales producidas (principalmente las domésticas) se someten a *eliminación* o a *tratamiento*, según sus características, aplicando en cada caso la tecnología más adecuada.

La **eliminación de aguas residuales** consiste fundamentalmente en el vertido al entorno, bien directa o indirectamente al terreno, o bien buscando la dilución de sus componentes en otras masas de agua. Estos métodos de eliminación están basados en las propiedades autodepuradoras naturales, por lo cual son más baratos, pero exigen exhaustivos estudios previos y perfeccionados métodos de control para evitar el deterioro del medio ambiente.

El **tratamiento o depuración de aguas residuales** consiste en concentrar los contaminantes contenidos en ellas para facilitar su posterior separación. Ello presupone la aplicación de unas operaciones, cuyas características y secuencia vienen definidas por las propiedades del agua a tratar y por el grado de depuración que se desee conseguir. A lo largo de las diferentes operaciones individuales de depuración se van separando del agua una serie de sustancias que hay que eliminar. Se trata de los “fangos” o “lodos”, que, por supuesto, también habrá que tratar. En definitiva, el propósito del tratamiento de aguas residuales es acelerar los procesos de la Naturaleza bajo condiciones controladas en instalaciones de tamaño mucho menor que los

espacios naturales, conocidas como “estaciones de depuración de aguas residuales” (EDAR). En estas plantas de proceso se utilizan diferentes operaciones básicas, que implican procesos físicos, químicos y biológicos y que suelen agruparse en distintas etapas de tratamiento, dentro de las que destaca el **tratamiento primario**, ya que permite eliminar los sólidos en suspensión contenidos en el agua, por lo que a veces es suficiente para cumplir las especificaciones de un vertido al entorno sin riesgos sanitarios.

El tratamiento primario de aguas residuales está basado principalmente en la **sedimentación**, operación física consistente en separar una suspensión en dos fases: un fluido claro sobrenadante y un lodo con una concentración elevada de materias sólidas. Esta operación a veces puede mejorarse mediante una **floculación**, es decir, aglutinando las partículas suspendidas en el líquido para formar unos agregados (flóculos). Cuando se favorece este fenómeno por adición de agentes químicos (coagulantes) se habla de **coagulación** y se utiliza para aglutinar partículas finas, causantes de la turbidez, formando otras más grandes, mucho más fácilmente separables por sedimentación.

Aproximación práctica

Atendiendo a los planteamientos realizados queda patente, por un lado, la necesidad de conocer los indicadores de contaminación del agua residual para poder evaluar su calidad y sus riesgos y, por otra, la posibilidad de aplicar la tecnología disponible para diseñar un tratamiento primario del agua residual lo suficientemente eficiente como para que permita separar la mayor parte de los sólidos que causan la contaminación. Por tanto, el objetivo de la **experimentación en el laboratorio** es lograr un acercamiento práctico a los problemas planteados, que permita la obtención de soluciones adecuadas.

Así pues, se determinará un conjunto de indicadores de contaminación del agua residual, se llevarán a cabo ensayos para obtener las mejores condiciones de coagulación de sólidos para su separación por sedimentación y se llevará a cabo un análisis de esta operación para calcular las dimensiones más adecuadas de un sedimentador. Bajo este punto de vista se ha estructurado el trabajo experimental en tres bloques o **prácticas**, con las denominaciones:

1. Indicadores de contaminación.
2. Ensayos de coagulación.
3. Cálculo de un sedimentador.

Presentación del informe

El informe que se ha de presentar sobre la realización de una práctica es un documento que forma parte inseparable de la misma, y servirá al profesor para completar sus criterios de evaluación del trabajo realizado en el laboratorio y en la etapa posterior de análisis de los datos obtenidos. Con objeto de facilitar su redacción, los alumnos han de verificar previamente los resultados obtenidos con el profesor, que deberá dar su visto bueno a los mismos antes de ser reflejados en el informe.

Bajo el punto de vista formal, el informe ha de ser presentado en papel de formato **DIN-A4**, grapado; si contuviese algún documento de tamaño mayor (gráficas, planos, registros de aparatos, etc.), éste se doblará cuidadosamente para no sobrepasar el formato. Asimismo, deberá tener siempre una **portada**, donde se harán constar los siguientes datos:

- Título de la práctica
- Titulación y curso
- Curso académico
- Número del grupo
- Relación de los alumnos componentes del grupo

Bajo el punto de vista conceptual, el contenido del informe se ajustará al siguiente esquema:

- Objetivos del proceso que se va a estudiar
- Enumeración secuencial de cada uno de los pasos seguidos para efectuar la toma de datos
- Relación (tabulada, en su caso) de los datos medidos directamente (datos brutos)
- Elaboración de los datos (obtención de resultados) y respuestas a las cuestiones
- Bibliografía consultada (en el formato normalizado que se utiliza en este manual), si es diferente a la citada en este manual

- Representaciones gráficas

Bibliografía

- APHA, AWWA, WPCF; “Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales”, 17ª ed., Ediciones Díaz de Santos, Madrid (1992).
- ASTM; “D 2035-80 (1995)”, Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.02, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 72-75 (1996).
- Calleja, G. (ed.); “Introducción a la Ingeniería Química”, Ed. Síntesis, Madrid (1999).
- Gallagher, D.; “Water treatment primer”, CE 4124: Environmental Information Management, Civil Engineering Department, Virginia Tech, Blacksburg (1996).
[http://www.cee.vt.edu/program_areas/environmental/teach/wtprimer/wtprimer.html]
- González, J.F.; “Wastewater treatment in the fishery industry”, FAO Fisheries Technical Paper - 355, Food and Agriculture Organization, Roma (1996).
[<http://www.fao.org/DOCREP/003/V9922E/V9922E00.HTM>]
- Jarabo, F., Elortegui, N. y Jarabo, J.; “Fundamentos de Tecnología ambiental”, SAPT Publicaciones Técnicas, Madrid (2000).
- McCabe, W.L. y Smith, J.C.; “Operaciones básicas de Ingeniería Química”, Ed. Reverté, Barcelona (1973).
- Metcalf & Eddy, Inc.; “Ingeniería sanitaria: Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales”, 2ª ed., Ed. Labor, Barcelona (1985).
- Ramalho, R.S.; “Tratamiento de aguas residuales”, Ed. Reverté, Barcelona (1991).
- Svarovsky, L. (ed.); “Solid-liquid separation”, Chemical Engineering Series, Butterworths, London (1977).

(1)

Indicadores de
contaminación

Objetivos de la práctica

- Establecer las diferentes alteraciones de calidad que presenta el agua residual mediante los llamados “indicadores de contaminación”.
- Abordar la utilización de métodos normalizados de análisis para la determinación de parámetros del agua residual.
- Medir los valores de algunos de los indicadores de contaminación, seleccionados por su utilidad y facilidad de obtención.

Fundamento teórico

Las alteraciones que puede sufrir la calidad del agua y provocar su contaminación pueden ser de diferentes tipos. Las **alteraciones físicas** son aquéllas relacionadas con la *propiedades organolépticas* (color, olor, sabor), *temperatura*, *materia en suspensión*, *espumas* o *radiactividad*. Las **alteraciones químicas** se producen por la presencia de determinados compuestos por encima de cierta concentración, tanto de tipo *orgánico* (afectan al carácter reductor) como *inorgánico* (afectan a la acidez, alcalinidad, corrosividad y toxicidad). Las **alteraciones biológicas** se refieren al desequilibrio provocado por un aumento del número de microorganismos presentes, especialmente bacterias, protozoos y algas.

Debido a la naturaleza tan variada de las sustancias contaminantes se ha optado por definir unos “**indicadores de contaminación**”, entre los cuáles destacan:

- **Contenido en sólidos:** El contenido en sólidos del agua es el parámetro más inmediato para medir la calidad del agua. Estos sólidos (totales) pueden estar disueltos, suspendidos (provocando turbidez) o ser sedimentables. A su vez, cada una de estas fracciones sólidas suele clasificarse según su volatilidad (a 600 °C), hablándose de sólidos fijos (sustancias inorgánicas) y sólidos volátiles (sustancias orgánicas).
- **Contenido en iones:** Los sólidos inorgánicos disueltos en el agua se encuentran formando iones, cuya cantidad y composición son muy variables y se manifiestan mediante propiedades tales como la *acidez* (capacidad para reaccionar con una base) o la *alcalinidad* (capacidad para neutralizar ácidos). No obstante, el ion más importante es el hidrogenión (H^+), ya que su intervalo de concentración para la existencia de la mayoría de las especies biológicas es

muy estrecho y crítico; la forma más usual de expresar su concentración es como pH. Por otro lado, la concentración total de sales también puede ser decisiva en la supervivencia de ciertos microorganismos, por lo que suele determinarse a partir de medidas de conductividad eléctrica del agua.

- **Oxígeno disuelto:** El oxígeno disuelto en el agua es indispensable para la respiración de los organismos aerobios. Generalmente proviene del contacto del agua con la atmósfera y de la fotosíntesis de las plantas acuáticas. No obstante, el oxígeno es sólo ligeramente soluble en agua, dependiendo su solubilidad de su presión parcial en la atmósfera, de la temperatura y de las otras diversas sustancias contenidas en el agua.
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** Este parámetro representa la capacidad de autodepuración del agua, siendo la concentración de oxígeno necesaria para descomponer, mediante acción bioquímica aerobia, la materia orgánica presente. Como esta descomposición es muy lenta y compleja, se toma como referencia un período de cinco días, determinando el contenido de oxígeno de una muestra dada y lo que queda después de cinco días en otra muestra semejante conservada a 20 °C fuera del contacto con el aire. La diferencia entre los dos contenidos representa la DBO, también expresada a veces como DBO₅. Cuanto mayor sea el valor de este parámetro, más contaminada estará el agua.
- **Demanda química de oxígeno (DQO):** Este parámetro expresa el oxígeno consumido por las sustancias reductoras presentes en el agua sin intervención de los organismos vivos. Se obtiene mediante la adición al agua de un agente oxidante fuerte (dicromato potásico, K₂Cr₂O₇), y midiendo la concentración consumida. Su valor siempre es superior al de la DBO, porque es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por vía química que biológicamente. Además muchas veces se utiliza como alternativa a la DBO, ya que se puede obtener en pocas horas.
- **Nitrógeno:** El nitrógeno es un elemento esencial (nutriente) para el crecimiento de los seres vivos. Por ello su concentración en el agua puede permitir valorar la tratabilidad por métodos biológicos. Como, por otro lado, todos los mecanismos de descomposición bioquímica del nitrógeno llevan a la producción de

amoníaco (NH_3), la concentración en el agua de iones amonio (NH_4^+) puede dar una idea de la “edad” del agua: cuanto mayor sea su valor respecto al nitrógeno total, más tiempo habrán tenido las distintas poblaciones para reducir a amoníaco las proteínas o la urea que pudiesen estar presentes en el agua.

- **Temperatura:** La temperatura del agua es un parámetro muy importante ya que ejerce una notable influencia en la solubilidad del oxígeno (un aumento de 10°C disminuye la solubilidad del oxígeno en un 20%), lo que tiene un gran efecto sobre los seres vivos que puede contener, sobre la velocidad de las reacciones químicas y bioquímicas (un aumento de 10°C hace que se duplique la velocidad de reacción) y en sus posibilidades de utilización. Por tanto, un agua cuya temperatura sea unos $10 - 15^\circ\text{C}$ superior a su valor medio normal podría considerarse como “térmicamente contaminada”.
- **Organismos patógenos:** Los organismos patógenos que se pueden encontrar en el agua proceden de residuos humanos y pueden causar enfermedades gastrointestinales como fiebres tifoideas, cólera o disentería. Como la identificación de los organismos patógenos presentes en el agua es extremadamente difícil y lenta, se utiliza como indicador de su posible existencia la presencia de heces. Las heces humanas se caracterizan por contener una elevada cantidad de bacterias en forma de bastoncillo (generalmente se evacúan unos 250.000 millones al día), llamadas “coliformes”, que no son dañinas y que son fáciles de determinar, por lo que se utilizan como indicadores de la contaminación fecal. Su presencia se interpreta como una indicación de heces y, por tanto, de que puede haber organismos patógenos presentes; su ausencia indica que el agua no contiene heces y, por tanto, se halla exenta de organismos productores de enfermedades.

Aunque existen métodos de análisis normalizados para la determinación de todos estos indicadores, sólo se considerarán algunos de ellos en la realización de estas prácticas, seleccionados por su utilidad y facilidad de obtención:

- Contenido en sólidos: Sólidos suspendidos totales.
- Demanda química de oxígeno (DQO).
- Nitrógeno amoniacal.
- Contenido en iones: pH y conductividad.

Dispositivo experimental

La determinación de parámetros se hará según las indicaciones de los “Métodos Normalizados” (“*Standard Methods*”). En este apartado se indica el material necesario en cada caso y en el apartado de realización práctica se esquematizará el procedimiento que se ha de seguir para la obtención de los resultados adecuados a partir de las muestras de agua de partida.

Contenido en sólidos: Sólidos suspendidos totales [SM-2540D]

- Discos de filtrado de fibra de vidrio.
- Embudo de filtrado con matraz de succión.
- Pinzas
- Cápsulas de vidrio.
- Probetas de 10 y 250 ml.
- Desecador.
- Estufa de secado.
- Balanza de precisión.

Demanda química de oxígeno (DQO) [SM-5220D]

- Vasos de precipitado de 100 ml.
- Pipeta de 3 ml.
- Digestor de bloque.
- Espectrofotómetro (Spectroquant NOVA 60, de Merck) con patrón interno para DQO memorizado según un valor estándar color - absorbancia - concentración.
- Cubetas de reacción Merck 14541 para test en cubetas de DQO.

Nitrógeno amoniacal [SM-4500-NH₃D]

- Vasos de precipitado de 25 y 100 ml.
- Pipeta de 1ml.
- Espectrofotómetro (Spectroquant NOVA 60, de Merck) con patrón interno para nitrógeno amoniacal memorizado según un valor estándar color - absorbancia - concentración.

- Cubetas de reacción Merck 14559 para test en cubetas de amonio.
- Reactivo granulado $\text{NH}_3\text{-1K}$, contenido en dosificador.

Contenido en iones: pH y conductividad

- Medidor de pH (pH-metro) estandarizado y equilibrado con arreglo a las instrucciones del fabricante utilizando disoluciones reguladoras (“buffer”) estándar de pH = 4 y pH = 10 a 25 °C.
- Conductímetro estandarizado y equilibrado con arreglo a las instrucciones del fabricante. Obsérvese que al ser la conductividad la magnitud inversa a la resistencia, su media se expresa como inverso de ohmios (Ω), denominados “siemens” (S), aunque aún puede encontrarse la denominación antigua de “mhos”. Así, la unidad de medida de la conductividad en el Sistema Internacional de Unidades es el S/m, aunque por motivos prácticos se suelen usar **mS/cm**. Como patrón se utiliza una disolución 0,01 M de KCl (745,6 mg de KCl diluido a 1.000 ml con agua), que a 25°C tiene una conductividad de 1.413 $\mu\text{S/cm}$.
- Termómetro.
- Vasos de precipitado de 100 ml.

Realización práctica

Utilizando las relaciones de material del apartado relativo al dispositivo experimental, en este apartado se describe el procedimiento que se seguirá, a partir de los “Métodos Normalizados” (“*Standard Methods*”), algunos de ellos desarrollados por Merck, para obtener los parámetros deseados de las muestras de agua. Se dispone de una muestra de agua de entrada al sedimentador primario de la EDAR de Santa Cruz de Tenerife y de una muestra de agua clarificada de salida del mismo sedimentador.

Contenido en sólidos: Sólidos suspendidos totales [SM-2540D]

Se filtra una muestra con un filtro normalizado y el residuo retenido (entre 2,5 y 200 mg) se seca a peso constante a 103 - 105°C en la estufa. El aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión.

- La preparación del filtro consiste en colocar un filtro dentro de una cápsula de vidrio, dejarlo secar en la estufa durante 1 hora a 103 - 105 °C, dejarlo enfriar en el desecador durante 15 minutos y pesarlo.
- Montar el filtro en el sistema de filtrado, verter un volumen medido de la muestra (unos 150 ml si es de entrada y unos 200 ml si es de salida) y aplicar vacío; **reservar el filtrado para el análisis de nitrógeno amoniacal**. Lavar dos veces con 10 ml de agua destilada.
- Desmontar el filtro, colocarlo en la cápsula de porcelana, dejarlo secar en la estufa durante 1 hora a 103 - 105 °C, dejarlo enfriar en el desecador durante 15 minutos y pesarlo.
- Conocida la diferencia de peso y el volumen de filtrado se calculará la concentración de sólidos y se expresará en mg/l.

Demanda química de oxígeno (DQO) [SM-5220D]

La DQO indica la cantidad de oxígeno procedente del dicromato potásico que en las condiciones de trabajo reacciona con las sustancias oxidables contenidas en la unidad de volumen de muestra. Ésta se oxida con una disolución sulfúrica caliente de dicromato potásico y sulfato de plata como catalizador (los cloruros son enmascarados con sulfato de mercurio). A continuación se determina fotométricamente la concentración de los iones Cr^{+3} verdes.

- Añadir con la pipeta 3 ml de muestra homogeneizada a una cubeta de reacción; tapar y mezclar.
- Colocar la cubeta en el digestor de bloque, a 150°C durante 2 horas; dejar enfriar hasta temperatura ambiente.
- Insertar la muestra en el espectrofotómetro y realizar la lectura, que proporciona un resultado directamente en **mg/l**, debido al calibrado interno del aparato.

Nitrógeno amoniacal [SM-4500-NH₃D]

El nitrógeno amoniacal se presenta en forma de iones amonio y en forma de amoníaco, existiendo entre ambas fases un equilibrio dependiente del pH. En medio fuertemente alcalino, en el que prácticamente sólo existe amoníaco, con iones hipoclorito tiene una transformación en monocloramina. Ésta forma con una sal de

fenol un indofenol azul, cuya concentración se determina fotométricamente.

- **Utilizar el agua de filtrado reservada en el ensayo del contenido en sólidos;** diluir a la mitad 1 ml de esta muestra.
- Añadir con la pipeta 0,1 ml de la muestra diluida a una cubeta de reacción; mezclar.
- Mediante el dosificador disponible, añadir 1 dosis de reactivo sólido $\text{NH}_4\text{-1K}$; tapar y agitar hasta la disolución del sólido.
- Dejar reaccionar durante 15 minutos.
- Insertar la muestra en el espectrofotómetro y realizar la lectura, que proporciona un resultado directamente en **mg/l**, debido al calibrado interno del aparato.

Contenido en iones: pH y conductividad

- Para medir el pH, verter la muestra de agua en un vaso de precipitado, introducir en ella el electrodo de pH y medir su valor cuando la lectura permanezca constante; anotar la temperatura. El medidor de pH ha de estar previamente calibrado, según las instrucciones del fabricante.
- Para medir la conductividad, verter la muestra de agua en un vaso, introducir en ella la célula de conductividad y medir su valor cuando la lectura permanezca constante; anotar la temperatura. La célula de conductividad ha de estar previamente calibrada, según las instrucciones del fabricante.

Presentación de los resultados

1. Se dispone de muestras de agua de **entrada** y de **salida** de un sedimentador primario. En lo que sigue se considerará que todos los datos habrán de ser obtenidos para cada una de las muestras, aunque no se especifique. Evidentemente, los resultados sí deberán reflejar ambas muestras y, si fuese necesario, habrá de operarse a diferentes diluciones con cada una de ellas cuando los métodos así lo indiquen.
2. A partir de los pesos de las muestras ensayadas para la obtención de los sólidos y de los volúmenes de muestra utilizados, calcular la concentración de sólidos suspendidos totales del agua, expresando el resultado en **mg/l**.
3. ¿Cuál es el grado de eliminación de sólidos que proporciona el sedimentador

primario?

4. Determinar la DQO mediante el método descrito. El valor que proporciona el espectrofotómetro, ¿es realmente la DQO de la muestra original?
5. ¿Se produce reducción de la DQO en el sedimentador primario? ¿Qué significa este hecho? Calcular la eficacia de reducción de DQO que proporciona el sedimentador.
6. Determinar el contenido de nitrógeno amoniacal mediante el método descrito, recordando que se utiliza para ello el líquido libre de sólidos en suspensión. ¿Es la lectura del espectrofotómetro directamente el valor del contenido amoniacal de la muestra original?
7. ¿En qué proporción se reduce el contenido de nitrógeno amoniacal al pasar el agua a través del sedimentador primario?
8. ¿Qué conclusiones pueden extraerse de la comparación de los valores obtenidos para el pH y la conductividad del agua?

(2)

Ensayos de coagulación

Objetivos de la práctica

- Estudiar el comportamiento de la operación de coagulación del agua residual urbana cuando se le añaden agentes químicos coagulantes.
- Aplicar un procedimiento de laboratorio normalizado para seleccionar el coagulante adecuado que proporcione la máxima eliminación de sólidos en suspensión.
- Determinar las mejores condiciones de adición del coagulante en cuanto a dosificación.

Fundamento teórico

El tratamiento primario de aguas residuales engloba un conjunto de métodos de separación de los sólidos en suspensión contenidos en el agua. Cuando el tamaño de las partículas es muy pequeño (próximo al del estado coloidal, de 0,1 a 10 micras) se separan con mucha dificultad, por lo que suele aplicarse un tratamiento que conduzca a la aglomeración de las partículas que facilite su separación. La unión o aglutinación de las partículas suspendidas en un líquido para formar unos agregados conocidos como “flóculos” se denomina **floculación**. Cuando se favorece este fenómeno por adición de agentes químicos, conocidos como “coagulantes”, se habla de **coagulación**. Es decir, la coagulación es una *floculación química*.

Esta operación se utiliza para aglutinar partículas finas, causantes de la turbidez, formando otras más grandes, mucho más fácilmente separables por sedimentación. Se emplean como productos químicos los denominados “coagulantes primarios”, sales inorgánicas (cloruro férrico, sulfato de aluminio, entre otros) y los denominados “coagulantes auxiliares”, diversos polielectrolitos de carácter aniónico, catiónico o neutro (como el policloruro de aluminio), en conjunción con los primeros, o solos.

Generalmente las operaciones de coagulación se llevan a cabo en dos etapas. En una primera etapa se añade el coagulante al agua residual y se mezcla mediante agitación vigorosa para obtener un contacto íntimo entre el coagulante y las partículas suspendidas, que favorezca la desestabilización del estado coloidal e inicie la aglutinación. En una segunda etapa, durante la que se produce lentamente la floculación, se agita suavemente la suspensión para aumentar la posibilidad de contacto entre las partículas coagulantes y para facilitar el desarrollo de flóculos

grandes. Estos flóculos son alimentados al sedimentador primario, donde son separados.

Ahora bien, ningún conjunto individual de condiciones de operación podrá satisfacer todos los tipos de aguas residuales, por lo que el modo de operación, el tipo y la dosis de coagulante y las condiciones de pH habrán de ser determinadas para cada caso particular, buscando una rápida formación de los flóculos, una alta velocidad de sedimentación y un líquido sobrenadante claro. Esta determinación se lleva a cabo en el laboratorio utilizando vasos de precipitado y agitadores, intentando simular la operación a escala real: primero se añade el coagulante y se mezcla rápidamente, y luego se agita lentamente para permitir la floculación. Como con frecuencia se estudian diversas variables simultáneamente, se suele utilizar normalmente una batería de agitadores (de 4 ó 6 unidades), lo que permite mantener unas condiciones de agitación constante y, por tanto, determinar los efectos de las otras variables que se modifican en cada uno de los vasos. Este dispositivo se conoce como aparato de “jar test” (ensayo de la jarra), cuyo esquema se muestra en la **Figura 2.1**.

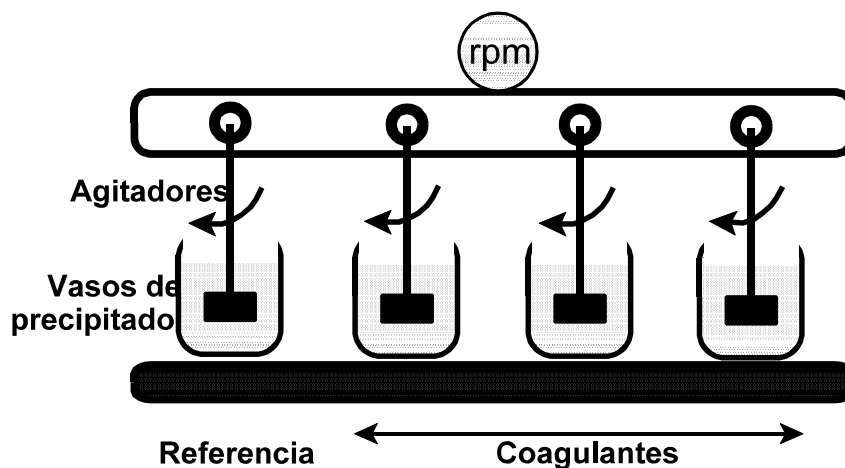


Figura 2.1: Aparato de “jar test”.

Dispositivo experimental

El aparato de “jar test” está formado por una estructura conteniendo una batería de 4 agitadores de paletas, que se utilizan para el mezclado de las suspensiones contenidas en sendos vasos de precipitado de 1 litro de capacidad. Uno de ellos se usa como referencia, mientras que en los otros tres se modifican las condiciones de

operación.

Las paletas de cada agitador pueden ser desconectadas o situadas a diferentes alturas. Su velocidad de giro puede ser controlada y medida simultáneamente en todas las unidades mediante el módulo de control adyacente, que asimismo dispone de un interruptor para el sistema de iluminación.

La eficacia de la operación se cuantificará mediante medidas de turbidez. La turbidez de un líquido es una expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de un líquido. Como la correlación de este parámetro con la concentración de materia en suspensión es difícil de establecer, los resultados de las medidas nefelométricas se expresan en forma de NTU ("Nephelometric Turbidity Units", Unidades Nefelométricas de Turbidez; una mezcla de 0,5 g/l de sulfato de hidracina y 5 g/l de hexametileno tetraamina produce una turbidez de 400 NTU).

Las medidas de turbidez se realizarán en un turbidímetro (nefelómetro) Turbiquant 1000 IR de Merck, calibrado según las especificaciones del fabricante y que proporciona las medidas directamente en NTU.

Realización práctica

Para realizar los ensayos de coagulación se utilizarán como coagulantes **cloruro férrico** (a concentraciones de 100, 300 y 500 mg/l), **sulfato de aluminio** (a concentraciones de 100, 300 y 500 mg/l) y **policloruro de aluminio** (a concentraciones de 10, 30 y 50 mg/l). Se utilizarán muestras de agua de entrada al sedimentador primario de la EDAR de Santa Cruz de Tenerife en volúmenes de 800 ml, contenidos en vasos de precipitado de 1.000 ml. Para la preparación de los coagulantes se necesitan 3 vasos de precipitado de 100 ml y una pipeta de 10 ml.

Preparación de los coagulantes

Las concentraciones iniciales a las que se encuentran disponibles los coagulantes utilizados son las siguientes:

- Cloruro férrico: 25 g/l
- Sulfato de aluminio: 40 g/l
- Policloruro de aluminio: 10 g/l

Teniendo en cuenta que se han de preparar suspensiones de 800 ml para ser sometidas al ensayo del “jar test”, se podrán calcular los volúmenes de coagulante que será necesario añadir al agua residual mediante el balance de materia:

$$C_0 V_0 = C V \quad [2.1]$$

donde **C** son las concentraciones y **V** los volúmenes (prestar atención a las unidades en las que se expresan las magnitudes de esta ecuación).

Ensayo de coagulación - floculación

El ensayo en el aparato de “jar test” se hará según el procedimiento estándar ASTM D 2035, siguiendo la siguiente secuencia:

- Llenar los vasos de precipitado con muestras de agua; uno de ellos se utilizará como referencia, mientras que en los otros tres se variará la concentración de coagulante.
- Añadir el coagulante a cada vaso y activar los agitadores a una velocidad de 150 rpm durante 1,5 minutos, medidos con un cronómetro, para favorecer la coagulación.
- Reducir la velocidad de agitación a 48 rpm y mantenerla durante 20 minutos para favorecer la floculación.
- Detener la agitación y dejar sedimentar las suspensiones durante 15 minutos. Mediante una pipeta, tomar 2 ml de muestra de agua a la mitad de profundidad de los vasos, cuidando de no producir turbulencias para evitar la alteración de los flocos.
- Medir la turbidez de las muestras tomadas.

Medidas de turbidez

Las medidas de turbidez se realizarán en el turbidímetro según el procedimiento descrito en los “Métodos Normalizados” (“Standard Methods”) [SM-2130B]. Se introduce la muestra en el compartimento óptico y se opera según el Manual de Instrucciones del aparato. Se obtendrán las medidas directamente en NTU.

Presentación de los resultados

1. Calcular los volúmenes de disolución de coagulantes que será necesario añadir a cada una de las muestras de agua para obtener las diluciones indicadas.
2. Obtener todas las medidas de turbidez y tabularlas junto con el tipo de coagulante y su concentración en la muestra ensayada.
3. Tomando como referencia los valores de turbidez de las muestras exentas de coagulantes, calcular la eficacia de cada uno de ellos en función de su concentración.
4. Representar gráficamente la variación de la eficacia del coagulante frente a su concentración. Utilizar la misma escala para los dos coagulantes primarios.
5. Observando los resultados obtenidos, ¿qué conclusiones pueden deducirse respecto a la concentración de coagulante y a su tipo?

(3)

Cálculo de un
sedimentador

Objetivos de la práctica

- Obtener la velocidad de sedimentación de una suspensión a partir de un ensayo de sedimentación intermitente de laboratorio.
- Utilizar los datos obtenidos para diseñar un sedimentador continuo, calculando su diámetro y su altura.

Fundamento teórico

La sedimentación es la operación de separación de las partículas de una suspensión, más densas que el fluido, debido a la acción de la gravedad. Cuanto mayor sea la diferencia entre las densidades del sólido y del fluido, más fácil será la separación. Cuando la suspensión tiene una baja concentración en sólidos, las partículas no interaccionan entre sí y sedimentan como entidades individuales; a este tipo de sedimentación se le denomina **sedimentación libre o de partículas discretas** y se presenta generalmente en los desarenadores de aguas residuales. Cuando la suspensión es diluida pero las partículas se juntan o flocculan, se produce un aumento de tamaño gradual de las mismas y, por tanto, también aumenta gradualmente la velocidad de sedimentación; a este tipo de sedimentación se le denomina **sedimentación floculenta** y se produce en los sedimentadores primarios de aguas residuales, permitiendo eliminar una parte de los sólidos en suspensión. Cuando la suspensión tiene una concentración de sólidos superior a los 500 mg/l, o es producto de un proceso de coagulación previa, las fuerzas ejercidas entre las partículas dificultan su caída y las partículas tienden a permanecer en posiciones relativas fijas, desarrollándose una interfase sólido-líquido que va descendiendo; a este tipo de sedimentación se le denomina **sedimentación retardada o zonal** y se produce en los decantadores secundarios de aguas residuales, o en los primarios cuya alimentación ha sido pretratada con coagulantes.

Debido a las diferentes características de cada uno de estos tipos de sedimentación, el análisis teórico de cada uno de ellos presenta aspectos totalmente diferentes. Considerando que se pretende abordar el estudio de un sedimentador primario cuya alimentación ha sido tratada con coagulantes, en lo que sigue se desarrollará sólo la sedimentación por zonas, considerando que los coagulantes son lo suficientemente efectivos como para lograr que la concentración del líquido

sobrenadante sea lo suficientemente baja como para poder afirmar que todos los sólidos en suspensión sedimentan y, por tanto, *la concentración de salida del líquido claro es nula*.

Ecuaciones de diseño: Cálculo del área y la altura

Generalmente la sedimentación se lleva a cabo de forma continua en depósitos cilíndricos, llamados **sedimentadores** o espesadores, con un fondo cónico de poca inclinación. La suspensión se alimenta por el centro a una cierta profundidad por debajo del nivel del líquido; el líquido claro se retira por la parte superior a través de un rebosadero y los sólidos (lodo) por el fondo. En estos sedimentadores continuos pueden distinguirse varias zonas, como se muestra en la **Figura 3.1**.

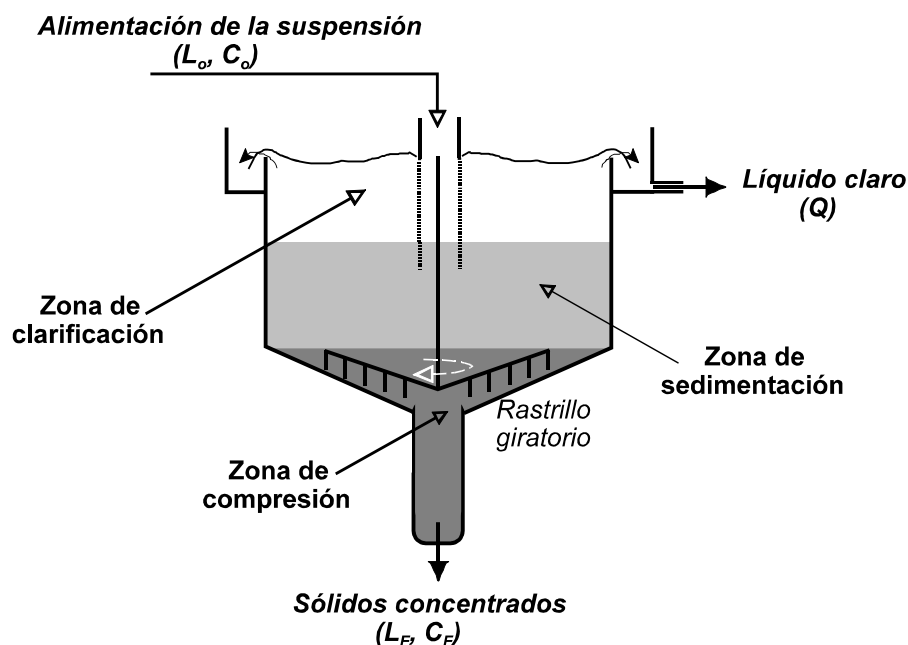


Figura 3.1: Sedimentador continuo.

El cálculo de un sedimentador se plantea para obtener su área (sección transversal) y su altura, conocido el caudal L_0 (m^3/s) y la concentración C_0 (kg/m^3), de la suspensión que se va a tratar y fijada la concentración final deseada, C_F (kg/m^3), del lodo.

El cálculo del **área** se abordará analizando la velocidad con la que los sólidos atraviesan el sedimentador (esta operación está controlada por la cantidad de movimiento), aplicando los balances de materia adecuados para obtener la ecuación

correspondiente, en función de los parámetros de diseño. Así, en cualquier sección transversal del sedimentador, **A**, por debajo del tubo de entrada, la velocidad del sólido debido a la corriente de entrada será:

$$v_o \left[\frac{m}{s} \right] = \frac{L_F \left[\frac{m^3}{s} \right]}{A \left[m^2 \right]} \quad [3.1]$$

Si se representa por **v** la velocidad del sólido debida exclusivamente a la acción de la gravedad, la velocidad total del sólido, **v_t**, que atraviesa la sección **A**, será:

$$v_t \left[\frac{m}{s} \right] = \frac{L_F}{A} + v \quad [3.2]$$

Por tanto, el caudal másico de sólidos, **M**, que atraviesan dicha sección **A**, podrá expresarse como:

$$\begin{aligned} M \left[\frac{kg}{s} \right] &= v_t \left[\frac{m}{s} \right] \cdot A \left[m^2 \right] \cdot C \left[\frac{kg}{m^3} \right] \\ &= \left(\frac{L_F}{A} + v \right) \cdot A \cdot C \end{aligned} \quad [3.3]$$

Por otro lado, el caudal másico de sólidos que entran en el sedimentador, **M_o**, podrá expresarse como:

$$M_o \left[\frac{kg}{s} \right] = L_o \left[\frac{m^3}{s} \right] \cdot C_o \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad [3.4]$$

Como el sedimentador opera en estado estacionario, deberá producirse que **M = M_o**, es decir:

$$\left(\frac{L_F}{A} + v \right) \cdot A \cdot C = L_o C_o \quad [3.5]$$

Teniendo en cuenta que los parámetros de diseño son **L_o**, **C_o** y **C_F**, el balance de sólidos alrededor del sedimentador permite poner (por el rebosadero no han de salir sólidos):

$$L_o \left[\frac{m^3}{s} \right] \cdot C_o \left[\frac{kg}{m^3} \right] = L_F \left[\frac{m^3}{s} \right] \cdot C_F \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad [3.6]$$

de donde:

$$L_F = \frac{L_o C_o}{C_F} \quad [3.7]$$

y, por tanto:

$$v \cdot A \cdot C = L_o C_o - L_F C = L_o C_o - L_o C_o \frac{C}{C_F} \quad [3.8]$$

obteniéndose finalmente:

$$A = \frac{L_o C_o}{v} \left(\frac{1}{C} - \frac{1}{C_F} \right) \quad [3.9]$$

Obsérvese que v y C no se conocen, por lo que será necesario su determinación a partir de ensayos de laboratorio.

La **altura** podrá calcularse, conocida el área del sedimentador, a partir de su volumen, que será la suma del ocupado por los sólidos y del ocupado por el líquido.

El volumen ocupado por los sólidos se podrá calcular como el producto del caudal volumétrico de sólidos y su tiempo de residencia en el sedimentador (ya que no salen sólidos por el rebosadero):

$$\begin{aligned} V_S [m^3 \text{ sól.}] &= \frac{L_o \left[\frac{m^3 \text{ susp.}}{s} \right] C_o \left[\frac{kg \text{ sól.}}{m^3} \right]}{\rho_s \left[\frac{kg \text{ sól.}}{m^3 \text{ sól.}} \right]} \cdot t_R [s] \\ &= L_o C_o \frac{t_R}{\rho_s} \end{aligned} \quad [3.10]$$

El tiempo de residencia, t_R es el tiempo en que la concentración de la suspensión alcanza el valor de diseño (concentración de salida del lodo), y ha de ser determinado experimentalmente.

El volumen ocupado por el líquido se calculará suponiendo, en principio, que las densidades de la suspensión y del líquido son casi iguales, de forma que:

$$C \left[\frac{kg \text{ sól.}}{m^3 \text{ susp.}} \right] \approx C \left[\frac{kg \text{ sól.}}{m^3 \text{ liq.}} \right] \quad [3.11]$$

Además, como sale líquido claro por el rebosadero, a lo largo del tiempo de residencia de la suspensión en el sedimentador, la concentración de la suspensión irá variando con el tiempo, por lo que será necesario utilizar un valor medio, C_m , a lo largo de t_R , que habrá de obtenerse por integración. La ecuación del volumen ocupado por el líquido podrá ponerse, pues, de la forma:

$$V_L [m^3 \text{ líq.}] = \frac{L_o C_o \left[\frac{\text{kg sól.}}{\text{s}} \right]}{C_m \left[\frac{\text{kg sól.}}{m^3 \text{ líq.}} \right]} \cdot t_R [s]$$

$$= L_o C_o \int_0^{t_R} \frac{1}{C} dt$$
[3.12]

Así pues, la altura del sedimentador será, finalmente:

$$h_{teór.} = \frac{V_s + V_L}{A} = \frac{L_o C_o}{A} \left(\frac{t_R}{\rho_s} + \int_0^{t_R} \frac{1}{C} dt \right)$$
[3.13]

Para poder aplicar esta ecuación será necesario conocer tanto el tiempo de residencia, t_R como el valor de la integral, lo que sólo es posible mediante ensayos de laboratorio.

A esta altura teórica habría que sumarle las correspondientes a la zona del rebosadero y a la zona troncocónica del fondo que, al no corresponder a secciones rectas, no se han considerado. Suele realizarse esta corrección de forma empírica, sumando una altura adicional comprendida entre **0,8** y **1,2** m. Se tendrá así, en definitiva:

$$h_{total} = h_{teór.} + h_{corr.}$$
[3.14]

que será la altura real de diseño.

Ensayos de sedimentación de laboratorio

Obsérvese que en la ecuaciones [3.9] y [3.13] aparecen las variables v , C y t_R , que es necesario conocer para poder calcular el área y la altura del sedimentador. Ello es posible realizando una sedimentación intermitente de laboratorio con la misma

suspensión, siguiendo la altura de la interfase formada en una probeta por la suspensión de sólidos descendente y el líquido claro sobrenadante, tal como muestra la **Figura 3.2**, lo que da lugar a una curva como la que se muestra en la **Figura 3.3**.

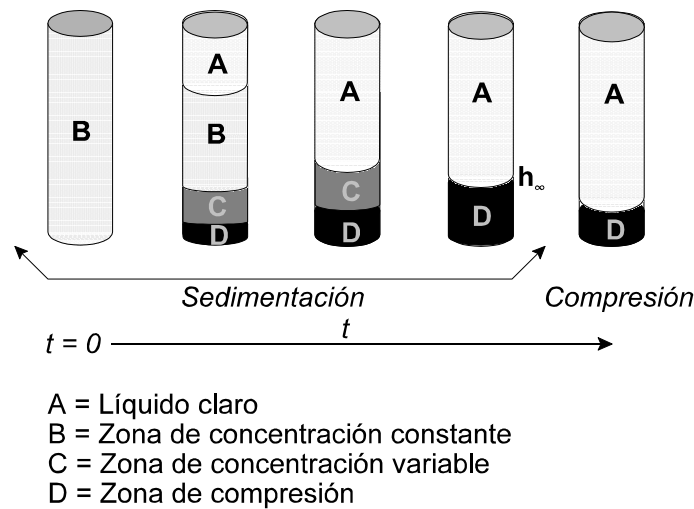


Figura 3.2: Ensayo de sedimentación de laboratorio.

Si se llama h_i a la altura de la interfase, su posición en cada momento, t_i , vendrá dada por:

$$h_i = h_o - v t_i \quad [3.15]$$

es decir, si se miden las alturas desde la base de la probeta, la diferencia entre la altura inicial, h_o (a la que le corresponde la concentración inicial, C_o), y el espacio recorrido por los sólidos, que sedimentan a la velocidad v . Obsérvese en este punto que para continuar con el razonamiento, se aceptará la hipótesis propuesta por Kynch (1952), que considera que la velocidad de sedimentación, v , solamente depende de la concentración de la suspensión, C .

Reordenando los términos de la ecuación anterior:

$$h_i + v t_i = h_o \quad [3.16]$$

y teniendo en cuenta que a esa velocidad v le corresponde una concentración C , podrá establecerse el balance de materia:

$$(h_i + v t_i) \cdot C \cdot A \text{ [kg]} = h_o \cdot C_o \cdot A \text{ [kg]} \quad [3.17]$$

ya que todos los sólidos presentes al principio en la suspensión (C_o en h_o) tendrán que pasar por la interfase de separación entre el líquido claro y los sólidos suspendidos.

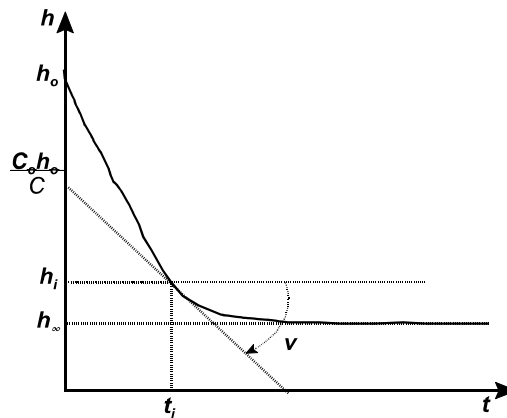


Figura 3.3: Curva de sedimentación intermitente.

Operando esta ecuación se obtiene:

$$h_i = \frac{h_o C_o}{C} - v t_i \quad [3.18]$$

ecuación de una recta en la gráfica experimental de sedimentación intermitente $h - t$, que representa la pendiente (tangente) en cualquier punto i de la curva obtenida (velocidad de desplazamiento de la interfase, dh/dt , variable a lo largo del experimento).

La pendiente de esta recta será la velocidad de sedimentación, v , a la concentración C , que puede obtenerse a partir de su ordenada en el origen (ya que se conocen h_o y C_o).

En resumen, trazando varias tangentes a la curva $h - t$ de sedimentación intermitente podrán obtenerse las parejas de valores $v - C$ necesarias para el cálculo del área del sedimentador continuo. Evidentemente, se obtendrán tantos valores del área como pendientes se determinen. El valor utilizado para el diseño tendrá que ser el mayor de todos los obtenidos, con objeto de asegurar que el área utilizada permita el paso de todos los sólidos contenidos en la suspensión.

Obsérvese que las tangentes pueden ser trazadas partiendo de valores predeterminados de la ordenada en el origen, o lo que es lo mismo, de la concentra-

ción (ya que L_o y C_o son datos de diseño del sedimentador continuo), lo que facilita no sólo el trazado geométrico, sino también la obtención del tiempo de residencia, t_R , de los sólidos en el sedimentador, dato imprescindible para el cálculo de la altura del sedimentador continuo.

Dispositivo experimental

El ensayo de sedimentación intermitente se realizará en una probeta de vidrio de 1 l de capacidad, que dispone de una escala graduada de alturas, utilizando una suspensión de agua residual coagulada **simulada** con carbonato cálcico, para facilitar la realización práctica, ya que no sólo se evitarán los olores, sino también se reducirán las dificultades que aparecen con frecuencia en las suspensiones reales relativas al seguimiento de una interfase lo suficientemente nítida. Esta suspensión se preparará con una concentración de **60 g/l** a partir de CaCO_3 comercial ($\rho_s = 2,63 \text{ g/cm}^3$). El tiempo se medirá con un cronómetro y para poder ver mejor el avance de la interfase, se iluminará la probeta por la parte posterior a la de su observación mediante un flexo. Como material auxiliar se necesita un vaso de precipitado de 250 ml, una espátula, un embudo, una balanza y un cronómetro.

Realización práctica

Se introduce la suspensión en la probeta hasta una altura determinada (h_o), se agita vigorosamente y se deposita la probeta sobre una superficie horizontal, momento en que se pone en marcha el cronómetro. Durante la primera media hora de sedimentación se tomarán medidas de altura de la interfase descendente a intervalos de **1 min.**; durante la segunda media hora, a intervalos de **2 min.** y durante la tercera media hora, a intervalos de **5 min.**

Con ayuda de los datos obtenidos se desea calcular las dimensiones (área y altura) de un sedimentador continuo que se alimentará con una suspensión de CaCO_3 comercial de concentración **60 kg/m³** a un caudal de **100 m³/h** con objeto de producir una suspensión concentrada de **120 kg/m³** y un sobrenadante limpio.

Presentación de los resultados

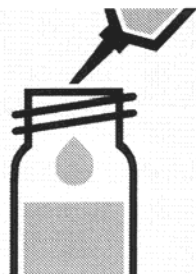
1. Identificar los datos de diseño del sedimentador continuo, L_o , C_o y C_F . ¿Cuál es la relación entre la concentración de la suspensión de la probeta y los datos de diseño?
2. Obtener los datos de variación de la altura de la interfase en la probeta con el tiempo. Representarlos gráficamente y trazar a través de los puntos obtenidos la mejor curva posible.
3. Calcular los valores de las ordenadas en el origen que se obtendrían de tangentes de concentraciones comprendidas entre el 60% y el 100% de la concentración del lodo (cinco valores, al menos).
4. A partir de las ordenadas calculadas, trazar las correspondientes tangentes a la curva $h - t$, determinando los respectivos valores de h_i , t_i y v . Obtener el tiempo de residencia de los sólidos en el sedimentador, t_R .
5. Representar la curva de variación de la velocidad de sedimentación con la concentración.
6. Calcular las áreas que le corresponden a cada pareja $v - C$; representar los valores de A obtenidos frente a la concentración y determinar gráficamente el área mínima del sedimentador.
7. Demuéstrese la suposición realizada de que el volumen ocupado por la suspensión es aproximadamente igual al ocupado por el líquido solo. Realícese el cálculo obteniendo el volumen de $CaCO_3$ que contiene 1 m^3 del lodo concentrado.
8. Calcular el volumen de sólidos, y el volumen del líquido mediante integración numérica o gráfica. Obtener el volumen teórico del sedimentador.
9. Calcular la altura teórica del sedimentador y corregirla con un valor intermedio del intervalo recomendado para obtener la altura real de diseño.

**Apéndice:
Manuales de
los aparatos**

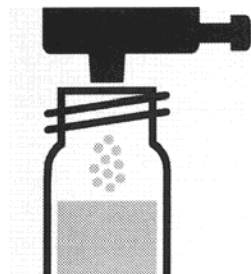
Intervalo 4,0– 80,0 mg/l de N amónico (“NH₄-N”)

de medida: 5,2– 103,0 mg/l de NH₄

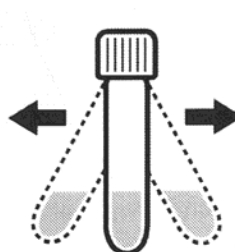
Es posible expresar los resultados también en mmol/l.



Añadir con la pipeta 0,1 ml de la muestra en una cubeta de reacción y mezclar.



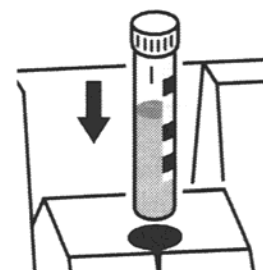
Añadir 1 dosis de NH₄-1K con el dosificador azul, cerrar la cubeta con la tapa roscada.



Agitar intensamente la cubeta para disolver la sustancia sólida.



Tiempo de reacción: 15 minutos



Colocar la cubeta en el compartimiento para cubetas con la línea vertical frente al observador.

Importante:

Concentraciones muy elevadas de amonio en la muestra producen soluciones de color turquesa (la solución de medición de verde amarillenta a verde) y valores falsamente bajos; en estos casos debe diluirse la muestra.

Aseguramiento de la calidad:

Para comprobar el sistema de medición (reactivos del test, dispositivo de medición y manipulación) recomendamos usar Spectroquant® CombiCheck 70, art. 14689.

Tras la correspondiente dilución también puede utilizarse la solución patrón de amonio lista para el uso, art. 19812, concentración 1000 mg/l de NH₄⁺.

Para comprobar los efectos dependientes de la muestra se recomienda el uso de solución de adición (componente de CombiCheck 70).

DiST

HI98301/2/3/4 Conductivity/TDS Meters with Automatic Temperature Compensation



HANNA
instruments
Manufacturers since 1978

OPERATION:

- Remove the protective cap.
- Turn the **DiST** on.
- Immerse it in the solution to be tested without exceeding the maximum immersion level.



- Stir gently and wait for the reading to stabilize.

DiST automatically compensates for temperature variations.

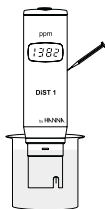


- The reading on display is directly expressed in:
ppm (mg/L) unit for **DiST1 (HI98301)**,
ppt (g/L) unit for **DiST2 (HI98302)**,
 μ S/cm for **DiST3 (HI98303)** and
mS/cm for **DiST4 (HI98304)**.

CALIBRATION:

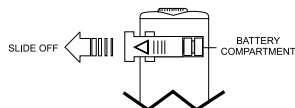
- Immerse the **DiST** in the indicated calibration solution (see Specifications), without exceeding the maximum immersion level.
- Allow the reading to stabilize and with a small screwdriver turn the calibration trimmer until the display shows the required solution value.

E.g. for calibrating **DiST1** the correct calibration solution is HI70032, and the trimmer should be turned until the display shows "1382".



BEPS AND BATTERY REPLACEMENT:

DiST is supplied with BEPS (Battery Error Preventing System) which avoids any erroneous reading due to low batteries level, by switching the meter off. To replace the batteries, slide off the battery compartment cover and replace all four 1.5V batteries while paying attention to their polarity.



Batteries should only be replaced in a nonhazardous area using the battery type specified in this instruction sheet.

ONE YEAR WARRANTY AND SERVICEABLE:

Covered by **one year** warranty against defects in workmanship and materials, these testers are now completely serviceable. Contact your dealer for further information.

The **DiST** is in compliance with the CE directives EN 50082-1, EN 50081-1 and EN 61010-1.

Visit our Internet Home Page:
<http://www.hannainst.com>

SPECIFICATIONS:

RANGE / RESOLUTION

DIST1	0 ÷ 1999 ppm / 1 ppm
DIST2	0.00 ÷ 10.00 ppt / 0.01 ppt
DIST3	0 ÷ 1999 µS/cm / 1 µS/cm
DIST4	0.00 ÷ 19.99 mS/cm / 0.01 mS/cm

ACCURACY (@20°C/68°F) ±2% f.s.

TYPICAL EMC DEVIATION ± 1% f.s.

TDS FACTOR (DIST1 & DIST2) 0.5

CALIBRATION SOLUTIONS

DIST1	HI70032 (1382 ppm)
DIST2	HI70038 (6.44 ppt)
DIST3	HI70031 (1413 µS/cm)
DIST4	HI70039 (5.00 mS/cm)-HI70030 (12.88 mS/cm)

TEMP. COMPENSATION 0 to 50°C (32 to 122°F)

ENVIRONMENT 0 to 50°C (32 to 122°F);
95% RH not condensing

BATTERY TYPE 4 x 1.5V alkaline (included)

BATTERY LIFE approx. 200 hours
of continuous use

DIMENSIONS 175 x 41 x 23 mm
(7.9 x 1.8 x 1")

WEIGHT 78 g (2.7 oz.)

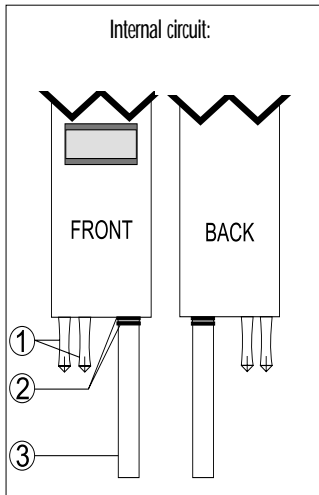
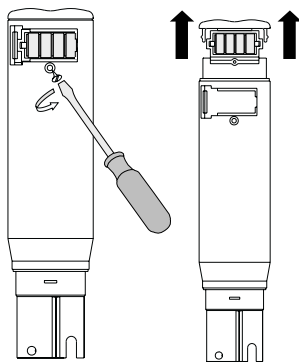
ACCESSORIES:

HI 70030P	12880 µS/cm calibration kit (25 x 20 mL sachets)
HI 70031P	1413 µS/cm calibration kit (25 x 20 mL sachets)
HI 70032P	1382 ppm (mg/L) calibration kit (25 x 20 mL sachets)
HI 70038P	6.44 ppt (g/L) calibration kit (25 x 20 mL sachets)
HI 70039P	5000 µS/cm calibration kit (25 x 20 mL sachets)
HI 73301	Spare electrode for DIST1
HI 73302	Spare electrode for DIST2
HI 73303	Spare electrode for DIST3
HI 73304	Spare electrode for DIST4
HI 73126	Calibration screwdriver (20 pcs)

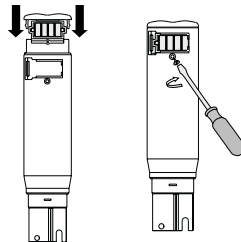
ELECTRODE REPLACEMENT:

The electrode is built-in inside the plastic casing and can be easily replaced in the following way:

- Slide off the battery cover.
- Remove the screw on the back of the **DIST** located below the battery compartment and slide off the whole internal part of the tester.



- Fasten the screw on the back, below the battery compartment.



- Replace the built-in electrode with a new:

HI73301 for **DIST1**

HI73302 for **DIST2**

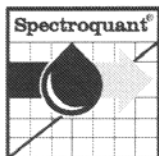
HI73303 for **DIST3**

HI73304 for **DIST4**

- Before reinserting the internal circuit into the new plastic casing, make sure the O-rings (2) of the temperature sensor (3) are properly seated (see drawing).

To avoid bending the connections to the conductivity sensors (1), do not apply excessive force while inserting the circuit. In case of any problem, reslide and reinsert it.

- Reinsert the battery compartment cover.
- Recalibrate the **DIST** before performing new measurements.



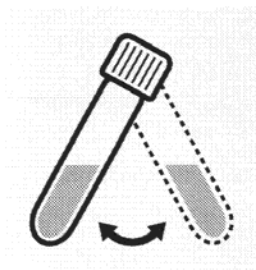
DQO

Demanda Química de Oxígeno

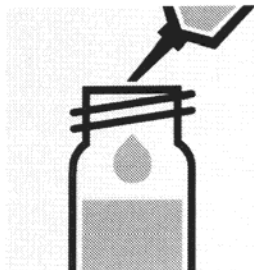
14541

Test en cubetas

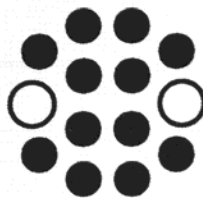
Intervalo de medida: 25–1500 mg/l de DQO y O₂



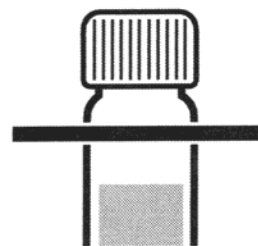
Poner en suspensión el sedimento del fondo de la cubeta mediante agitación por balanceo.



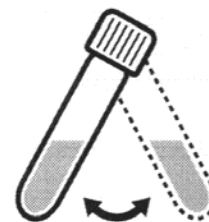
Añadir con pipeta 3 ml de la muestra **cuidadosamente** en una cubeta de reacción, cerrar firmemente con tapa rosca y mezclar intensamente. **¡Atención, la cubeta se calienta mucho!**



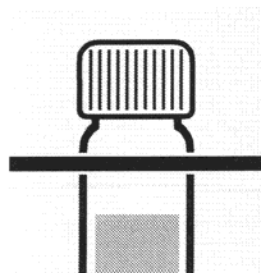
Calentar la cubeta de reacción en el termoreactor durante 2 horas a 148 °C.



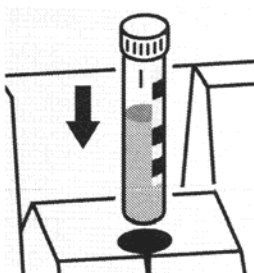
Sacar la cubeta del termoreactor, dejarla enfriar en el soporte de cubetas redondas.



Después de enfriar durante unos 10 minutos, agitar otra vez la cubeta por balanceo.



Volver a colocar la cubeta en el soporte y dejar enfriar hasta temperatura ambiente (**¡muy importante!**).



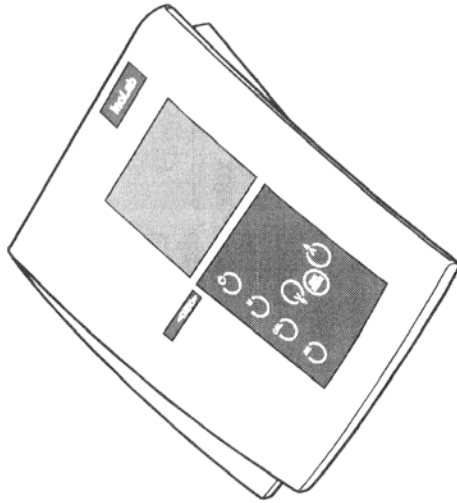
Colocar la cubeta en el compartimiento para cubetas.

Aseguramiento de la calidad:

Para comprobar el sistema de medición (reactivos del test, dispositivo de medición y manipulación) recomendamos usar Spectroquant® CombiCheck 20, art. 14675.

Para comprobar los efectos dependientes de la muestra se recomienda el uso de solución de adición (componente de CombiCheck 20).

inoLab pH Level 1



Medidor de pH para laboratorios

Calibrating (pH)

1	With M select the pH mode and with CAL select the Cal procedure.
2	Submerge the pH electrode in the first buffer solution.
3	Press the AR key. AR flashes - wait for a stable value.
4	Rinse the pH electrode.
5	Submerge the pH electrode in the second buffer solution.
6	Press the AR key. AR flashes - wait for a stable value.
7	To return to the measuring mode: press the M key.

Measuring (pH)

1	Connect the electrode to the pH meter.
2	Switch on the meter by pressing ON .
3	Calibrate or check the measuring system.
4	Submerge the electrode in the test sample.
5	Select the measuring mode by pressing M . The display shows the pH value or the Redox voltage (mV) of the sample.

TURBIQUANT®



1000 IR

TURBIDÍMETRO MODO DE EMPLEO








Instrucciones breves para el turbidímetro ●

Mediciones en curso

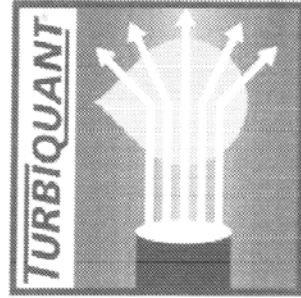
1. Presionar la tecla .
2. Enjuagar una cubeta limpia 3 veces con la muestra a ser medida. Llenar la cubeta con la muestra. Cerrar la cubeta con el tapón negro fotoprotector. Asegúrese que la cubeta esté seca, limpia y sin huellas dactilares.
3. Introducir la cubeta en el compartimento óptico y orientarla correctamente.
4. Presionar la tecla .
5. Esperar hasta que la indicación en el display deje de parpadear. Leer el valor medido.

Calibrar

1. Presionar la tecla .
2. Aplicar el estándar 1000 NTU ("CAL 1") cuando el instrumento lo solicite, orientando correctamente. Luego presionar la tecla .
3. Aplicar el estándar 100 NTU ("CAL 2") cuando el instrumento lo solicite, orientando correctamente. Luego presionar la tecla .
4. Aplicar el estándar 10,0 NTU ("CAL 3") cuando el instrumento lo solicite, orientando correctamente. Luego presionar la tecla .
5. Aplicar el estándar 0,02 NTU ("CAL 4") cuando el instrumento lo solicite, orientando correctamente. Luego presionar la tecla .

Mensajes del sistema y errores indicados

En el manual de instrucciones se explica la forma de corregir errores del sistema.



MERCK