

## ***CAPÍTULO II.- RESPIROMETRÍA***

### **2.1 Evolución histórica de la respirometría**

La utilización de respirómetros de distintos tipos, con el objetivo de realizar medidas directas y continuas de las tasas de consumo de oxígeno de distintas reacciones biológicas data desde principios de los '90. Afortunadamente desde esa época a la fecha, se ha logrado un perfeccionamiento tanto de los instrumentos y mecanismos, como la mejor definición de los conceptos involucrados.

La tentativa más antigua de utilizar la absorción directa para medir la demanda del oxígeno de las aguas residuales fue hecha por Adney en 1890. Él desarrolló un tipo de aparato manométrico de presión constante en el cual él observaba el índice de la absorción del oxígeno por el agua contaminada. A una presión constante, la disminución del volumen, debido a la absorción del oxígeno fue observada por la distancia que una columna del agua asciende en un tubo vertical, graduado, en forma de "U" que conectaba dos recipientes, uno llenado parcialmente de la muestra, y el otro que contenía un volumen igual de agua. El aparato entero fue colocado a una temperatura constante en un baño de agua, y agitado periódicamente para mantener un exceso del oxígeno disuelto en la muestra. Aunque Adney encontró que este método era exacto, él concluyó que no era conveniente para el trabajo rutinario.

Rideal y Burgess (1909) utilizaron el aparato, pero lo encontraron insatisfactorio debido a los escapes que se producían en el curso de la agitación. Sugirieron que el método de la dilución, con la incubación de las botellas cerradas con la medida del oxígeno disuelto tanto antes como después de la incubación por un método modificado de Winkler era más exacto. Este método fue el precursor de la prueba estándar  $DBO_5$ . Sierp (1928) y otros revivieron y modificaron el aparato de aireación directa de Adney para reducir el dispendioso trabajo del método de la dilución y para producir lecturas rápidas, directas y frecuentes.

El respirómetro de Warburg (1926) usado extensivamente por Don Bloodgood en la Universidad de Purdue y por H. Huekelekian en la Universidad de Rutgers fue una modificación del "*manómetro de sangre-gas*" desarrollado por Haldane y Barcroft (1902). El trabajo pionero de Sawyer, de Nichols y de Rohlich (1939) en el estudio y el desarrollo de las curvas de la utilización del oxígeno en lodos activados, fue hecho usando los dispositivos manométricos que ellos desarrollaron para satisfacer su necesidad de utilizar muestras más grandes y de sistemas más herméticos. Estos sistemas, sin embargo, requerían la adición manual de aire atmosférico para suplir el oxígeno. Analistas expertos eran necesarios para operar y vigilar visualmente las lecturas del manómetro. La interpretación era aburrida y costosa ya que no existían aparatos automatizados para la manipulación de los datos.

En 1948 Caldwell y Langelier realizaron una publicación donde concluyeron que las medidas respirométricas ofrecían un gran número de ventajas con respecto al método de dilución convencional en cuanto a determinación de valores de  $\text{DBO}_5$ . En ese trabajo, los autores recomendaban la utilización de respirómetros para análisis de rutina en aguas residuales tanto industriales como municipales así como el control de los distintos procesos en plantas de tratamiento de efluentes. Asimismo, se recomendaba especialmente la utilización de estos instrumentos para estudios de investigación dada la gran facilidad y precisión con la cual era posible manejar las variables.

En 1951, Gelman y Heukelekian llevaron a cabo un extenso estudio en cuanto al empleo de respirómetros para la determinación de  $\text{DBO}_5$ . Dentro de las variables analizadas se incluían pH y sus efectos, presencia de nutrientes, concentración de sustrato, volumen y origen de cultivo y su adaptación. En 1954, Lee y Oswald publicaron resultados de estudios comparativos adicionales evaluando la utilización de respirómetros Warburg con respecto al método de diluciones standard para determinación de  $\text{DBO}_5$ , utilizando "aguas residuales" de distinto tipo: cruda,

esterilizada y sintética. Estos investigadores concluyeron que los respirómetros podían ser utilizados eficientemente para la determinación de la  $DBO_5$ . Asimismo destacaban que en la medida que aumentase la cantidad de puntos requeridos a graficar de la curva de consumos, la aplicación de dichos instrumentos era claramente preferida.

John W. Clark en la Universidad de Nuevo México a fines de los años 50 desarrolló y reportó un dispositivo en el cual el oxígeno fue generado por una pila electrolítica, que también funcionó como un manómetro, asociado a un reactor cerrado. Cuando el dispositivo es accionado por la reducción de la presión en el recipiente de la prueba causado por el retiro químico del  $CO_2$  generado por la respiración bacteriana, el oxígeno fue producido por una corriente controlada de corriente continua. El valor integrado de la corriente proporcionó una indicación del oxígeno consumido.

Un poco más tarde, en 1960, Jenkins realizó una revisión extremadamente extensiva del uso de respirómetros para el estudio de aguas residuales, tanto industriales como municipales.

Montgomery en 1967, sintetizó el diseño y aplicación de estos equipos, enumerando las ventajas de los métodos respirométricos en relación al método de dilución común de la siguiente manera:

1. Las condiciones existentes tanto en la naturaleza como en una planta de tratamiento dada pueden ser “replicables”/”simuladas” muchísimo mejor a través de un respirómetro que en una “botella diluída” del clásico test de  $DBO_5$ .
2. Mediante el uso de un respirómetro es posible la determinación de un perfil de consumo de oxígeno de forma más o menos continua.
3. Mediante métodos respirométricos es posible estudiar eficientemente el efecto de distintos factores en las tasas de consumo de oxígeno.

4. Los métodos respirométricos son capaces de producir resultados “biológicamente valiosos” mucho antes de los 5 días requeridos por el método de dilución.

## 2.2 Fundamentos

El método respirométrico para la determinación de la  $DBO_5$  se basa en medir el consumo de oxígeno, o la producción de  $CO_2$ , en una botella respirométrica. Este objetivo se logra entre otras formas (método manométrico) midiendo la variación de la presión en la botella, mediante un manómetro lo suficientemente sensible. Otros métodos respirométricos propiamente dichos miden la producción dentro de la botella de  $CO_2$  u otros gases como metano, anhídrido sulfhídrico, etc.

El método respirométrico se puede usar también para medir la  $DBO_U$  (DBO carbonácea última o total, mg/L). Con la respirometría podemos evaluar la actividad biológica del lodo activo en su relación con la biomasa, el nivel de contaminación del agua residual, nitrificación y toxicidad.

El consumo de oxígeno se mide principalmente bajo dos variantes:

- A. La velocidad de consumo de oxígeno es igual a la tasa de respiración o captura de oxígeno.

$$r_{O_2} = OUR \quad (2.1)$$

- B. La cantidad total de oxígeno consumido para degradar una muestra durante un determinado período de tiempo es igual a la Demanda Bioquímica de Oxígeno de período corto ( $DBO_{st}$ ).

## 2.3 Absorción del $CO_2$

En el método manométrico, se mide el vacío creado por el consumo de oxígeno causado por la muestra. Para esto, se requiere absorber el CO<sub>2</sub> formado de alguna manera. De lo contrario no habría cambio de presión en las botellas ya que el volumen de CO<sub>2</sub> producido podría ser igual o casi igual al volumen de oxígeno consumido.

La absorción del CO<sub>2</sub> puede hacerse de varias maneras:

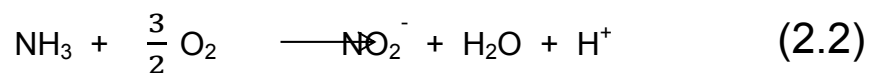
- a) Adecuando el poder buffer de la solución en ensayo para absorber la totalidad del CO<sub>2</sub>, en forma de Bicarbonato disuelto en el líquido, y
- b) Absorbiendo el CO<sub>2</sub> mediante algún hidróxido alcalino en un recipiente apropiado en contacto con la fase gaseosa de la botella.

## 2.4 Nitrificación

La nitrificación se refiere al proceso en el cual las bacterias nitrificantes (microorganismos autótrofos: Nitrosomas y Nitrobacter) pasan a oxidar el nitrógeno amoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) en dos etapas consecutivas (oxidación a nitrito NO<sub>2</sub><sup>-</sup> y finalmente a nitrato NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

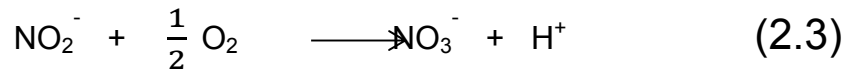
Puede ocurrir una demanda adicional de oxígeno como consecuencia de la oxidación biológica del amonio. Las reacciones simplificadas que definen este proceso de nitrificación son:

- Conversión de amonio a nitrito (por Nitrosomonas): convierte el NH<sub>3</sub> en ion nitrito, siendo el O<sub>2</sub> el agente oxidante.



$$\Delta G' = -66,500 \text{ cal}$$

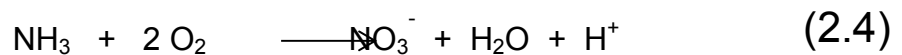
- Conversión de nitrito a nitrato (por Nitrobacter): oxida el nitrito en nitrato



$$\Delta G' = -17,500 \text{ cal}$$

Ambas reacciones son exergónicas; la primera consiste en la oxidación del nitrógeno de -3 a +3; la segunda es una oxidación de dos electrones de +3 a +5. Ambos grupos de organismos son autótrofos; es decir, sintetizan todos sus componentes celulares de carbono (proteínas, lípidos, carbohidratos) a partir de CO<sub>2</sub> en carbohidratos requiere energía. En la fotosíntesis, dicha energía es proporcionada por la luz; en los casos de Nitrosomonas y Nitrobacter, la energía para la reducción del CO<sub>2</sub> en carbohidratos y otros compuestos de carbono es proporcionada, respectivamente, por la oxidación del NH<sub>3</sub> y el ion NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. Puesto que los organismos obtienen la energía que requieren para crecer de la oxidación de compuestos inorgánicos simples, se denominan quimioautótrofos.

- Conversión total de amonio a nitrato:

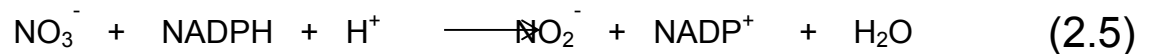


El oxígeno necesario para la conversión de amonio a nitrato se conoce como DNO (demanda nitrogenada de oxígeno). En general, la demanda de oxígeno debida a la nitrificación ocurre de 5 a 8 días después de iniciada la prueba de DBO<sub>5</sub> convencional. Sin embargo, si inicialmente existen suficientes organismos nitrificantes, la nitrificación puede ocurrir al principio de la prueba.

## 2.5 Utilización del ión nitrato

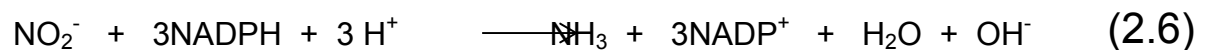
Siendo el ión  $\text{NO}_3^-$  la forma más abundante del nitrógeno en el suelo, en las plantas y los organismos del suelo se ha desarrollado la capacidad de utilizar este anión como la fuente de nitrógeno requerida para el crecimiento y el desarrollo. Sin embargo, se señala que la vía principal de incorporación del nitrógeno inorgánico a compuestos orgánicos de nitrógeno incluye las reacciones catalizadas por las enzimas glutamina sintetasa y glutamato sintasa. Por tanto, las plantas superiores y microorganismos después de absorber el  $\text{NO}_3^-$  deben reducirlo hasta  $\text{NH}_3$  para que pueda ser asimilado. Esta reducción ocurre en dos etapas.

La primera etapa es catalizada por la enzima nitrato reductasa que se encuentra en el citosol de las células vegetales y cataliza la siguiente reacción:



Se han purificado nitrato reductasa de bacterias, plantas superiores (soya, frijol) y del moho del pan. En cada caso, uno de los nicotinamida nucleótidos reducidos ( $\text{NADPH}$  ó  $\text{NADH}$ ) funciona como fuente de electrones para la reducción. Las enzimas son flavoproteínas que contienen FAD (flavín adenín dinucleótido ó dinucleótido de flavina-adenina) y requieren el metal molibdeno como cofactor. Ambos cofactores experimentan oxido-reducción durante la reacción.

La segunda etapa de la reducción del  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{NH}_3$  es catalizada por la enzima nitrito reductasa:



Esta enzima lleva a cabo la reducción con seis electrones del  $\text{NO}_2^-$  en  $\text{NH}_3$ . Se encuentra en los cloroplastos de las plantas superiores, donde se halla asociada a la membrana de los tilacoides; en este sitio, tendría fácil acceso al agente reductor  $\text{NADPH}$  producido por la acción de la luz. La nitrito reductasa posee una proteína de hierro hemo siroheme, que probablemente interviene en el proceso de reducción. El

ion hiponitrito ( $\text{N}_2\text{O}_2^{2-}$ ) y la hidroxilamina ( $\text{NH}_2\text{OH}$ ) pueden ser intermediarios unidos a enzimas.

Esta utilización del nitrógeno, en la cual los microorganismos aerobios y las plantas superiores reducen un ion nitrato en  $\text{NH}_3$  para incorporarlo a las proteínas de la célula, se conoce como asimilación del nitrato. Quizá sea difícil comprender por qué en la naturaleza el  $\text{NH}_3$  se oxida fácilmente hasta  $\text{NO}_3^-$  que, a su vez, debe reducirse de nuevo hasta  $\text{NH}_3$  antes de incorporarse a los aminoácidos. Una posibilidad es que el amoníaco sea metabólicamente muy activo y no pueda almacenarse como tal en los tejidos de la planta. El nitrato, por otra parte, puede absorberse y almacenarse en la vacuola para ser reducido hasta  $\text{NH}_3$ , a medida que se necesita, y el cual luego es asimilado.

Muchos microorganismos, entre ellos las bacterias *Escherichia coli* y *Bacillus subtilis*, reducen el  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{NH}_3$  con otro propósito; utilizan el  $\text{NO}_3^-$  como aceptor terminal de electrones en lugar de  $\text{O}_2$ . El  $\text{NO}_3^-$ , con su alto potencial de óxido-reducción de 0.96 V a pH 7.0, acepta los electrones liberados durante la oxidación de sustratos orgánicos. Los intermediarios son probablemente  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{N}_2\text{O}_2^{2-}$  y  $\text{NH}_2\text{OH}$ , como en el proceso de asimilación del nitrato, pero en este caso el proceso se conoce como respiración de nitrato. Además, las enzimas que participan están firmemente asociadas con la materia insoluble de la célula, principalmente la membrana plasmática. En el caso de *Achromobacter fischeri*, la reducción de  $\text{NO}_3^-$  se ha acoplado a la oxidación del citocromo c reducido; por lo tanto, se indica la presencia de una cadena de citocromos para el transporte de electrones que puede reaccionar con el  $\text{NO}_3^-$  en lugar del  $\text{O}_2$  como la oxidasa terminal.

Algunas bacterias, por ejemplo: *Pseudomonas Denitrificans* y *Denitrobacillus*, que utilizan el proceso de la respiración de nitrato producen  $\text{N}_2$  en lugar de  $\text{NH}_3$ . En este proceso, se efectúa el retorno del átomo del nitrógeno como gas nitrógeno a la



atmósfera. Esta secuencia se conoce como desnitrificación. Existe poca información detallada sobre los sistemas enzimáticos implicados (Bitton, 2005).

## **2.6 Respirómetros**

Un respirómetro es un instrumento que consiste en un pequeño reactor biológico que sirve para medir velocidades de respiración aerobia de una población microbiana en determinadas condiciones. El respirómetro determina la cantidad de oxígeno consumida por unidad de tiempo y de volumen.

Algunos autores consideran al respirómetro como un sensor, ya que consiste en una unidad física con una entrada de muestra externa y una salida de resultados (OUR: Oxigen, Uptake, Rate u otros parámetros) obtenida después de un procedimiento interno. Por otra parte, y debido a su condición de reactor biológico, los resultados son extremadamente dependientes de las condiciones de trabajo y, por tanto, puede existir una variabilidad en la salida. Esta variabilidad cuestiona el hecho de que se considere sensor al respirómetro y obliga a que los resultados de las respirometrías se acompañen de las condiciones de operación:

- Estado de la biomasa (concentración, pH, T, DQO, Edad, etc)
- Tipo de sustrato utilizado
- Temporalidad de la medida de oxígeno (puntual, continua)

### **2.6.1 Configuraciones**

Tanto en bibliografía cómo en catálogos comerciales se han encontrado distintas configuraciones de respirómetros que han sido analizadas. Las más significativas se muestran a continuación:

**Respirómetro continuo:** Continuo o discontinuo hace alusión al modo de aporte del gas. En un respirómetro continuo, el aire circula de manera ininterrumpida en el recipiente donde se lleva a cabo la determinación. Se mide caudal y concentración de oxígeno en el aire a la entrada y a la salida de forma permanente, para así poder determinar por diferencia el consumo instantáneo de oxígeno. A partir de la curva de consumos instantáneos de oxígeno frente a tiempo se podrán obtener por derivación las velocidades instantáneas de consumo de oxígeno. Se trata claramente de un respirómetro GFS (Gas- Flowing-Static: la medida de oxígeno es en fase gas, el gas entra al respirómetro en forma continua y la fase líquida entra en forma estática), donde la medida se realiza en fase gas, existe un flujo continuo de gas y el medio líquido permanece estático en el interior del reactor biológico donde se lleva a cabo la determinación respirométrica.

Existe una variante de este respirómetro en el que la muestra a analizar se encuentra en fase sólida. Se utiliza habitualmente para determinar la estabilidad del compost. Aunque se siga tratando de un respirómetro GFS, ahora la fase líquida no aparece como tal para la determinación del balance de oxígeno. La ecuación de balance de oxígeno se simplifica bastante y sólo se ha de tener en cuenta la ecuación del balance de oxígeno para la fase gas.

**Respirómetro discontinuo (Batch):** El aporte de oxígeno depende de dos valores de consigna, un máximo y un mínimo de concentración de oxígeno dentro del recipiente donde se lleva a cabo la respirometría. Se inyecta aire hasta alcanzar el valor máximo de concentración de oxígeno establecido. Una vez alcanzado se deja de inyectar oxígeno y se espera a que los microorganismos lo consuman, hasta llegar, esta vez, a la consigna mínima y se vuelve a airear. Se mide el tiempo que emplean los microorganismos en consumir el oxígeno, con lo que se obtiene la

velocidad instantánea de consumo de oxígeno. Este proceso se repite cíclicamente. En cada ciclo este respirómetro funciona como un GSS (Gas-Static-Static: la medida de oxígeno es en fase gas, el gas entra al respirómetro en forma estática y la fase líquida entra en forma estática), si la medida de la concentración de oxígeno se hace en el gas, o un LSS (Liquid-Static-Static: la medida de oxígeno es en fase líquida, el gas entra al respirómetro en forma estática y la fase líquida entra en forma estática) si la concentración de oxígeno se realiza en el medio líquido. (Carmona y Vázquez, 2004).

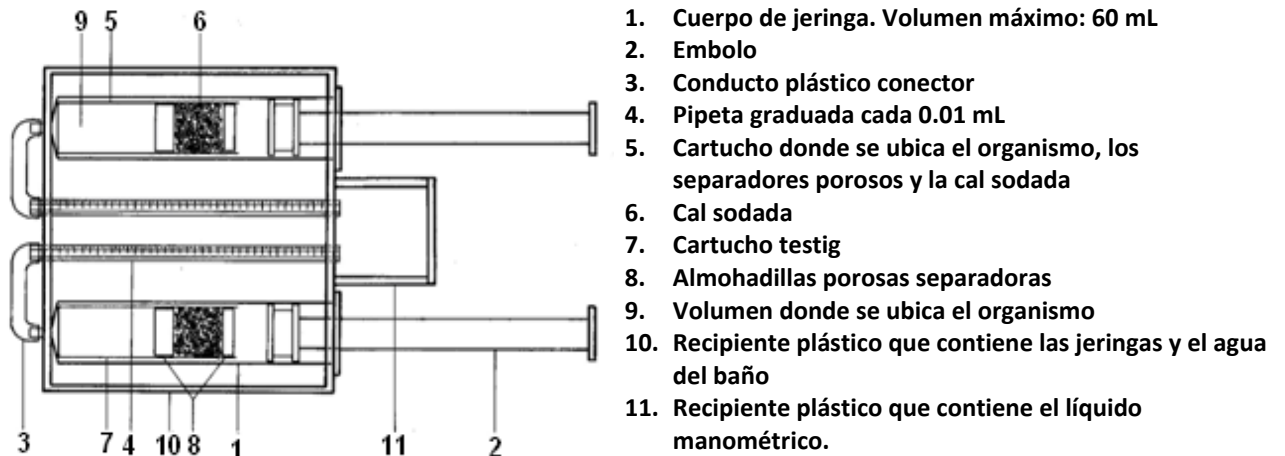
### **2.6.2 Clasificación**

Se emplean cuatro tipos de respirómetros: **manométrico, electrolítico, volumétrico y de entrada directa**. La diferencia entre los respirómetros radica en la forma como detectan los requerimientos de oxígeno y el método empleado para suplir esas necesidades de oxígeno. En el respirómetro manométrico (p.ej., respirómetros Gilson y Warburg, precursores de los respirómetros modernos), el oxígeno tomado se relaciona con un cambio de presión causado por el consumo de oxígeno a volumen constante mediante el remplazo continuo del oxígeno consumido por los microorganismos. El remplazo de oxígeno se realiza por medio de una reacción de electrólisis en la cual el oxígeno se produce como respuesta a cambios en la presión. En los respirómetros volumétricos, el consumo de oxígeno se relaciona con cambios de volumen debido a que el oxígeno se suministra a presión constante. En respirómetros de entrada directa, el oxígeno puro se suministra por medio de cambios de presión (Standard Methods, 1995).

#### **Respirómetros a presión constante (Volumétrico)**

El principio de funcionamiento de los respirómetros a presión constante se basa en la fijación en medio acuoso alcalino del CO<sub>2</sub> liberado por los organismos, y la consecuente disminución del volumen gaseoso de la cámara donde aquel se encuentra, debido al consumo del O<sub>2</sub>. Estos respirómetros funcionan a presión

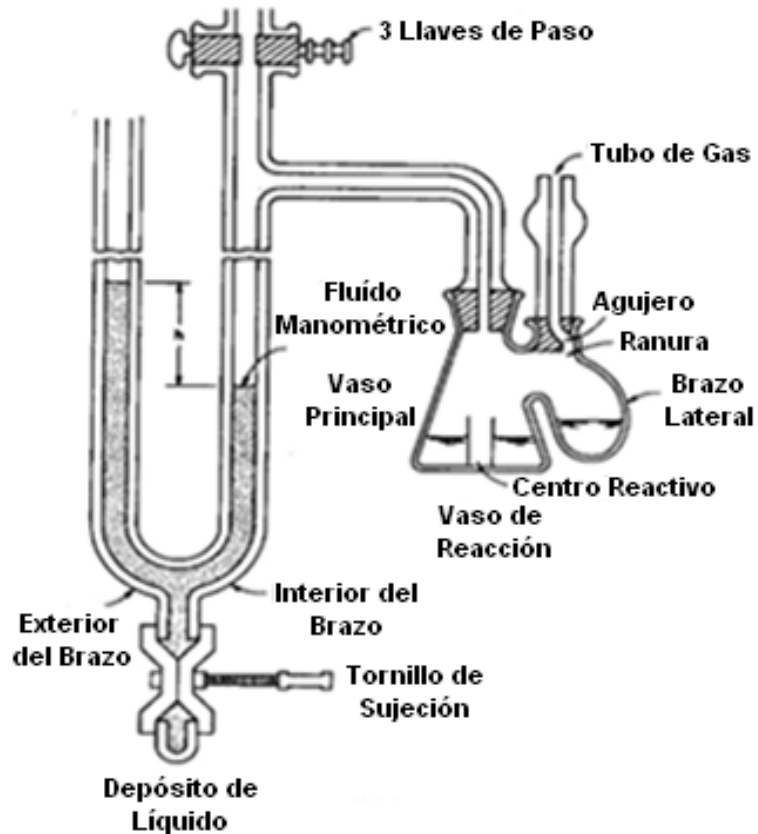
constante, pues continuamente se nivela la presión interna con la presión externa, a través de un líquido cuyo desplazamiento sobre una pipeta graduada, de disposición horizontal, equivale al volumen de oxígeno consumido. El dispositivo se sumerge en un baño de agua a fin de mantener estable la temperatura. La Figura 2.1 esquematiza el instrumental mencionado.



**Figura 2.1 Respirómetro de presión constante (sistema cerrado). Dezi, R.E 1987.**

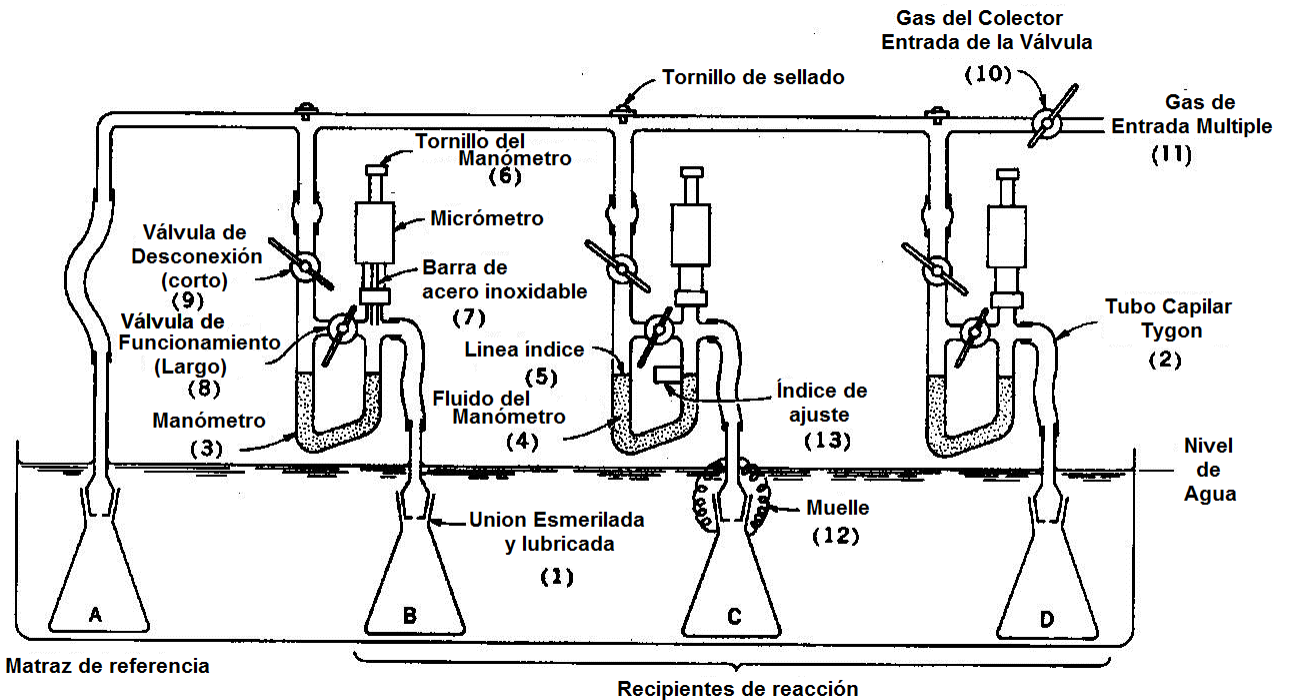
### **Respirómetros a volumen constante (Manométrico)**

Un método tradicionalmente utilizado para la medición de la tasa de consumo de oxígeno a volumen constante es el método de Warburg, que básicamente consiste en un recipiente con la muestra biológica, unido a un manómetro



**Figura 2.2 Durante la medición, las conexiones externas del recipiente mencionado permanecen cerradas, registrándose el cambio de presión en el manómetro (por la diferencia en la altura del líquido manométrico en ambas ramas del manómetro).Ref. Dunn A. Arditti J. 1969.**

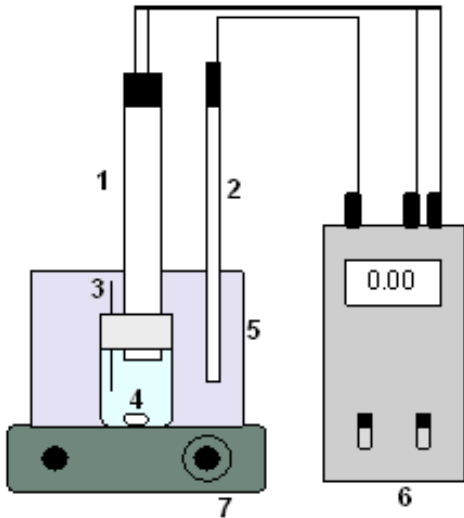
Una versión aún utilizada de este método está dado por el sistema de respirómetros múltiples ideado por Gilson (Figura 2.3), en el cual la diferencia de presión producida durante la medición se mide sobre una perilla micrométrica luego de restituir la altura de la columna de líquido manométrico a su valor original. En todos los casos el  $\text{CO}_2$  es fijado en medio alcalino (hidróxido de sodio concentrado, o similar).



**Figura 2.3 Sistema de respirómetros múltiples de Gilson (volumen constante).Ref. Idem.**

### **Respirómetros a volumen constante (Electrolítico)**

Son muy utilizados actualmente los respirómetros a volumen constante que incluyen electrodos sensibles al oxígeno, los cuales registran el descenso de la concentración de  $O_2$  disuelto en una solución acuosa (inicialmente saturada de  $O_2$ ) contenida en una cámara hermética, en presencia de un tejido (Fig. 2.4) o bien el descenso de la concentración de  $O_2$  del aire contenido en una cámara hermética en presencia de un organismo (con absorción del  $CO_2$  por la cal sodada). A fin de controlar la temperatura, las cámaras de medición se sumergen en un baño termostático con agitación continua. La toma de datos de los respirómetros se efectúa por lectura del monitor del medidor (caso de la Figura. 2.4), o bien mediante una placa adquisidora de datos conectada a una computadora.

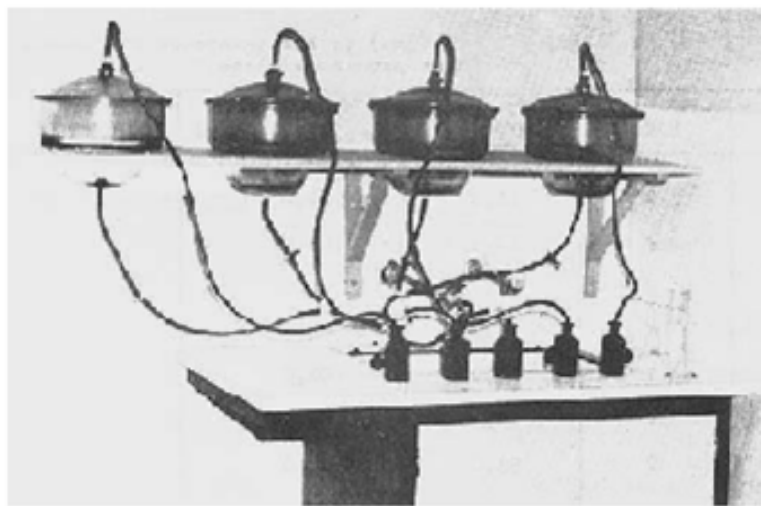


1. Electrodo sensible al  $O_2$
2. Termómetro
3. Cánula
4. Cámara hermética con buzo revestido de teflón
5. Baño térmico
6. Registrador

**Figura 2.4** Respirómetro a volumen constante equipado con electrodo de oxígeno.

### Respirómetros de Entrada Directa

Los respirómetros de entrada directa, entregan oxígeno a la muestra cada minuto a partir de una fuente de oxígeno puro con base en la demanda, cuando se detecta por diferencias en la presión.(Figura 2.5)



**Figura 2.5** Respirómetro de circuito abierto, utilizado para determinar el consumo de oxígeno

### **2.6.3 Respirómetro de laboratorio**

Se refiere a respirómetros que solamente pueden estar ubicados de forma fija en el banco de un laboratorio. El papel de estos respirómetros puede limitarse a la planta de tratamiento para la que se ha destinado, pero también puede tratarse de un equipo, instalado en un centro o laboratorio de referencia, destinado a recibir muestras y lodos de otras plantas de tratamiento o vertidos de distinta índole.

Cuando este respirómetro se destina a la protección y control de la depuración biológica de una PTAR, deben de tenerse en cuenta que la representatividad de las medidas y ensayos va a depender de su correlación con la realidad temporal del reactor biológico de la planta. Es decir que si queremos tener un control de hoy no lo podemos hacer con parámetros de ayer, o si queremos tener un control de la tarde no lo podemos llevar a cabo con ensayos realizados por la mañana, por ejemplo.

La limitación de los respirómetros de laboratorio, puede estar en la dificultad de obtener datos en tiempo real correlacionados con lo que le está pasando actualmente al reactor de la planta.

De todos modos, su efectividad va a depender del programa de trabajo y de sus aplicaciones específicas: hay que tener en cuenta que el proceso de la depuración biológica de una planta de tratamiento es relativamente lento y que no siempre es necesario un control en tiempo real, incluso a veces puede hasta no ser recomendable.

Probablemente en algunos casos la limitación más significativa pueda venir del riesgo de no detectar en tiempo de proceso la presencia de una toxicidad o punta de carga imprevista que pueda dañar seriamente al lodo. En cualquier caso, repito, va a depender del programa diario de trabajo establecido para el respirómetro.



Es importante hacer hincapié de la conveniencia de utilizar equipos de laboratorio de naturaleza abierta en donde, además de los ensayos automáticos del propio analizador, se puedan llevar aplicaciones derivadas de los parámetros básicos de medida, así como análisis y estudios diseñados por el propio usuario.

### **Respirómetro de Laboratorio-Transportable**

Un respirómetro que fácilmente se puede transportar e instalar en laboratorios de distintas plantas de tratamiento adquiere importantes ventajas cuando se utiliza como una herramienta de trabajo de una entidad o empresa dedicada al mantenimiento, reformas, estudios y puesta a punto de varias plantas de tratamiento.

### **Respirómetro de Proceso**

Entendemos por respirómetro de proceso, aquel que lleva a cabo una serie de medidas en continuo o en secuencia continua. Este tipo de equipos, normalmente no pueden ser de naturaleza abierta y, por lo tanto, deben ceñirse exclusivamente a los parámetros para los que el analizador ha sido diseñado.

La ventaja evidente de este tipo de analizadores es la facultad de poder medir en los parámetros en proceso y, de este modo, poder adquirir un criterio de control o protección sin retraso de tiempo.

En los respirómetros de proceso debemos distinguir dos grupos de analizadores: los respirómetros que miden directamente en el licor-mezcla desde el propio reactor biológico (tanque de aireación) de la planta de tratamiento y los que, por medio de su propio sistema, realizan una mezcla de lodo con muestra para

poder llevar a cabo las medidas antes de que el agua residual entre en el reactor biológico para pasar a formar parte del licor-mezcla.

Las ventajas de los que realizan las medidas directamente desde el licor-mezcla son las medidas del efecto real y la mayor sencillez de infraestructura para su instalación. Existe, no obstante, la posible desventaja de que miden hechos consumados y en muchas veces, este tipo de sistema de medida, no permite un tiempo de reacción suficiente como para formar un criterio de control y protección del sistema.

Los equipos que realizan su propia mezcla y pueden detectar y medir la contaminación orgánica o tóxica mucho antes de que pueda entrar a formar parte del biológico obviamente presentan un importante beneficio al poder conceder al usuario o sistema la ventaja de formar un criterio con tiempo suficiente para tomar medidas para la protección y control del proceso de depuración.

Estos analizadores, sin embargo, necesitan una mayor infraestructura de instalación debido principalmente al hecho de tener que transportar, por medio de sistemas de bombeo, el lodo y la muestra hasta el equipo.

### **Combinación Respirómetro de Laboratorio con Módulo de Proceso**

En la actualidad ya existen sistemas de respirometría transportables que pueden actuar indistintamente como respirometría de laboratorio y como de proceso. Desde el concepto aceptado de que la vigilancia y control de un reactor biológico necesitan ensayos de laboratorio y el seguimiento en continuo de determinados parámetros, el sistema combinado que puede actuar tanto en continuo como en laboratorio adquiere importantes y fundamentales beneficios a tener muy en cuenta a la hora de adquirir un equipo de respirometría para estos cometidos.

El conjunto está formado por el módulo de laboratorio transportable y el módulo de proceso adicional, también transportable. Un punto a favor de este sistema es que el usuario puede adquirir el módulo de laboratorio inicialmente y posteriormente ampliar el sistema a proceso mediante la adquisición del módulo de proceso.

Otra ventaja es que en caso de que se trate de una entidad que comprenda varias plantas de tratamiento de aguas residuales o rectores de una misma, se pueden instalar varios módulos de laboratorio en cada planta de tratamiento y que el módulo de proceso se desplace a cada una de ellas cuando el caso lo requiera.