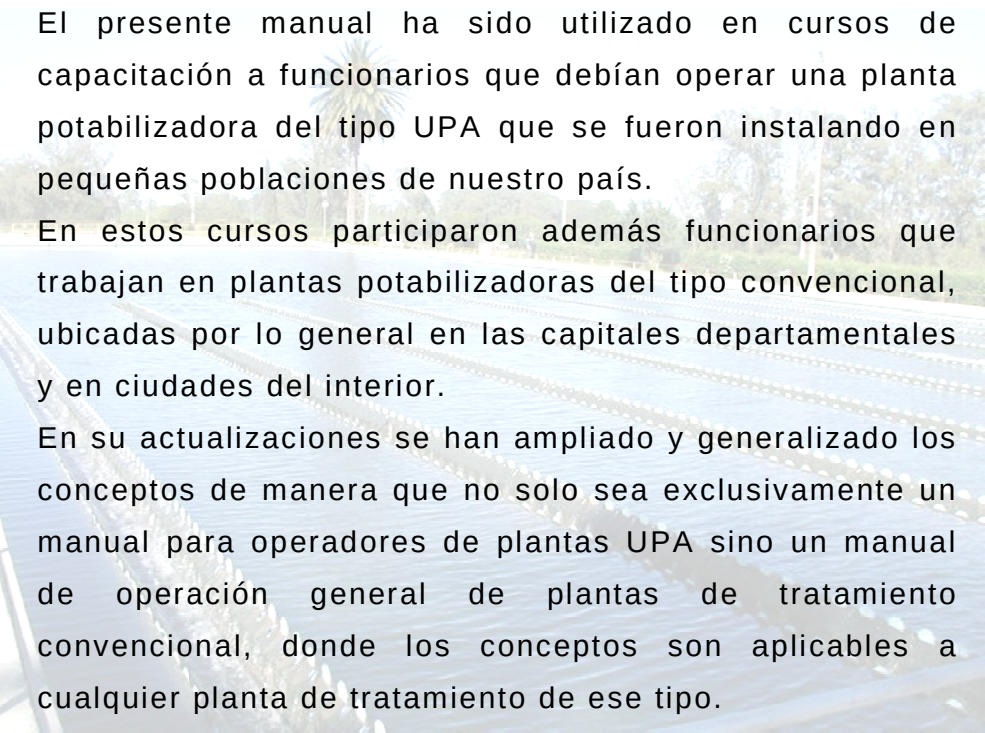


Operadores de Plantas Potabilizadoras de Aguas Superficiales



Obras Sanitarias del Estado
Capacitación
2014



El presente manual ha sido utilizado en cursos de capacitación a funcionarios que debían operar una planta potabilizadora del tipo UPA que se fueron instalando en pequeñas poblaciones de nuestro país.

En estos cursos participaron además funcionarios que trabajan en plantas potabilizadoras del tipo convencional, ubicadas por lo general en las capitales departamentales y en ciudades del interior.

En su actualización se han ampliado y generalizado los conceptos de manera que no solo sea exclusivamente un manual para operadores de plantas UPA sino un manual de operación general de plantas de tratamiento convencional, donde los conceptos son aplicables a cualquier planta de tratamiento de ese tipo.

INDICE

CONCEPTOS PRELIMINARES	8
INTRODUCCIÓN.....	8
CICLO HIDROLÓGICO	8
TURBIEDAD.....	10
COLOR.....	10
ALCALINIDAD	11
pH.....	11
REFERENCIAS.....	13
DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO	14
COAGULACION	14
Mecanismos de mezcla rápida	15
PLACA ORIFICIO:.....	15
RESALTO HIDRÁULICO	15
MEZCLADOR MECÁNICO.....	15
Gradiente de velocidad	15
Alcalinidad y coagulante.....	16
Coagulantes.....	16
Dosis.....	16
FLOCULACION	16
Tipo de Floculadores.....	17
Floculadores hidráulicos de chicanas:	17
Floculadores mecánicos:	18
SEDIMENTACIÓN.....	19
Tipo de sedimentadores.....	20
Tasa de sedimentación:	20
FILTRACIÓN	21
Tasa de filtración.....	23
Lavado de filtro.....	24
DESINFECCIÓN	24
Desinfección mediante cloro	25
El poder desinfectante del cloro libre.....	26
El cloro combinado.....	26
DOSIS DE CLORO	26
Condiciones para una eficiente desinfección.....	27
Toxicidad del cloro	27

PRODUCTOS QUIMICOS USADOS EN TRATAMIENTO	28
Dosis y concentración de soluciones.....	28
Dosis	28
Concentración.....	28
COAGULANTE.....	29
SULFATO DE ALUMINIO.....	29
ALCALINIZANTES	30
OTROS PRODUCTOS.....	30
SULFATO DE ALUMINIO ACIDO	30
PERMANGANATO DE POTASIO.....	31
CARBON ACTIVADO.....	31
SULFATO DE COBRE	31
DESINFECTANTES	31
POLIELECTROLITOS.....	32
Preparación de soluciones:.....	32
MATERIAL DE LABORATORIO	33
MATERIAL DE VIDRIO	33
Vasos de Bohemia:.....	33
Erlenmeyer:.....	33
Pipetas	33
Probetas:.....	34
Buretas:.....	34
Pisetas:.....	34
Matraces aforados:.....	34
Otros Materiales	34
Limpieza de material de vidrio.....	35
MEDICION	35
Titulación (o valoración):	36
EQUIPOS UTILIZADOS.....	36
Comparador	36
Dilución	37
Turbidímetro.....	37
pHímetro:	38
DETERMINACION DE PARAMETROS	39
MEDIDA DEL COLOR.....	39
DETERMINACION ANALITICA:	39
Utilizando comparador:.....	40
MEDIDA DE LA TURBIEDAD.....	40
DETERMINACION ANALITICA:	40
Para realizar la medición:	41
Control de la calibración.....	41
Las interferencias que puede tener el método son las siguientes:	42
Expresión de los resultados:	42
Muestreo y almacenamiento:	42
DETERMINACION DE OLOR	42
DETERMINACION ANALITICA:	43
Muestreo y almacenamiento:	44

<i>MEDIDA DE pH</i>	44
DETERMINACION ANALITICA.....	44
<i>MÉTODO COLORIMÉTRICO:</i>	44
<i>MÉTODO POTENCIOMÉTRICO:</i>	45
Procedimiento de calibración:	45
<i>Muestreo y almacenamiento:</i>	46
<i>MEDIDA DE LA ALCALINIDAD</i>	46
DETERMINACION ANALITICA.....	46
<i>Procedimiento (si el pH es mayor que 8,3)</i>	47
<i>Cálculos y expresión de los resultados:</i>	47
<i>Interpretación de resultados</i>	48
<i>Muestreo y conservación:</i>	48
<i>MEDIDA DE LA MATERIA ORGANICA</i>	48
DETERMINACION ANALITICA:	48
<i>Cálculos y expresión de los resultados:</i>	49
<i>Muestreo y almacenamiento:</i>	50
<i>MEDIDA DEL CLORO RESIDUAL</i>	50
DETERMINACION ANALITICA:	50
DOSIFICACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS.....	51
Preparación de soluciones	51
<i>Determinación de la cantidad de sulfato a agregar para preparar la solución de coagulante</i>	51
<i>Verificación de la concentración obtenida</i>	51
<i>Determinación del caudal de dosificación para obtener la dosis deseada</i>	52
<i>Verificación de la dosis que se está aplicando</i>	53
<i>PRUEBA DE JARRAS</i>	54
Dosificación óptima de coagulantes	55
<i>Determinación de la dosis óptima:</i>	55
<i>Dosis óptima</i>	57
Optimización del proceso de floculación.....	58
Dilución óptima del coagulante.....	58
<i>Conclusiones</i>	59
RUTINAS DE OPERACION DE PLANTAS DE TRATAMIENTO.	60
<i>PUESTA EN MARCHA</i>	60
CONTROLES PREVIOS	60
ENCENDIDO.....	61
<i>FUNCIONAMIENTO</i>	61
Análisis de agua.....	61
<i>Agua filtrada con turbiedades mayores a 0.8 NTU</i>	62
<i>Determinaciones que debe realizar cada turno</i>	63
Control de dosificadores.....	63
Controles de funcionamiento.....	63
Operación del decantador	64
Lavado de Filtros.....	64
<i>Proceso de lavado</i>	64
APAGADO.....	65
MANTENIMIENTO PERIÓDICO.....	66
Limpieza de decantadores y floculadores.....	66

Mantenimiento de dosificadores.....	66
Mantenimiento de filtros	66
<i>Lavado especial con Soda o con Hipoclorito de Sodio.....</i>	<i>67</i>
APENDICES	69
<i>Apéndice 1.....</i>	<i>69</i>
Aforo de bomba dosificadora.....	69
<i>Apéndice 2.....</i>	<i>72</i>
Determinación del caudal de la bomba proveedora para plantas pequeñas. .72	72
<i>Apéndice 3.....</i>	<i>74</i>
Tablas de Gradiente de velocidad de UPAs	74
<i>Apéndice 4.....</i>	<i>75</i>
Gradiente de velocidad (s-1) para Equipo Phipps & Bird	75
<i>Apéndice 5.....</i>	<i>77</i>
Reglamento para la manipulación de productos químicos en Plantas de potabilización	77
<i>Apéndice 6.....</i>	<i>78</i>
Límites para el control de operación y calidad en la Planta.	78
<i>Apéndice 7.....</i>	<i>79</i>
Frecuencias para el Control del Tratamiento de Agua en condiciones normales de Operación.	79
<i>Apéndice 8.....</i>	<i>80</i>
Determinación de cloro residual por método de DPD	80
<i>Apéndice 9.....</i>	<i>81</i>
Ejercicios de apoyo para el módulo 1.....	81
<i>Apéndice 10.....</i>	<i>84</i>
Ejercicios de apoyo al módulo 2	84
<i>TURBIDEZ.....</i>	<i>84</i>
<i>pH.....</i>	<i>84</i>
<i>COLOR</i>	<i>85</i>
<i>COLOR RESIDUAL.....</i>	<i>85</i>
<i>ALCALINIDAD</i>	<i>85</i>
<i>Apéndice 11.....</i>	<i>86</i>
Ejercicios de apoyo al módulo 3.....	86
<i>Apéndice 12.....</i>	<i>88</i>
Registro de Ensayo de Jarras.	88

Operador de tratamiento de agua

La tarea de un operador de tratamiento de agua, requiere de conocimientos, destrezas y responsabilidades.

En lo que tiene que ver con las responsabilidades, el operador de tratamiento de agua comparte la responsabilidad de la calidad del agua que se produce en su turno con el Jefe de Usina, el Supervisor de Producción y el Jefe Técnico Departamental.

Tiene la responsabilidad de la producción de agua potable conforme a la norma vigente y con el mínimo costo posible.

“Una planta de tratamiento, por óptimo que sea su diseño, si no cuenta con una operación eficiente, consecuencia de la capacitación técnica de los operadores, no brindará los resultados esperados. Este mismo concepto, es extensivo a aquellas plantas que cuentan con una automatización avanzada, pues en mayor o menor medida, siempre es necesaria la participación del hombre, supervisando y controlando los mecanismos de operación”.

Ing. Jorge Arboleda Valencia

CONCEPTOS PRELIMINARES

INTRODUCCIÓN

A lo largo de su historia, la sociedad humana ha buscado establecerse en zonas que dispongan de abastecimientos sostenibles de agua a nivel local. Desde que el hombre comenzó a realizar actividades agrícolas y de cría de animales se nucleó en villas que luego se constituyeron en ciudades, el acceso al agua para cubrir las necesidades de la población y riego motivaron las primeras obras en ese sentido en la Mesopotamia y Egipto [6].

Pero el agua se presenta de diferentes formas, bajo lo que denominamos diferentes estados, es así que podemos encontrarla en forma líquida, sólida o gaseosa. Del total de agua estimada en la tierra el 97,5% es agua salada, por tanto el agua indispensable para la vida humana, el agua dulce, representa el 2,5% [4].

Pero no toda el agua dulce está fácilmente accesible, el 68,7% se encuentra en forma de hielos y nieves permanentes en los casquetes polares y montañas. El 29,9% se encuentra en el subsuelo y tan sólo el 0,26% del agua dulce se concentra en lagos, represas, y ríos.

CICLO HIDROLÓGICO

El agua se encuentra en movimiento permanente en el planeta en sus diferentes estados, a dicho movimiento se le denomina ciclo hidrológico. Este ciclo, cuenta con una fase ascendente, accionada por la energía solar (evapotranspiración) y una fase descendente (precipitación, infiltración y escurrimiento superficial) que proporciona los bienes y servicios que nosotros y nuestro ambiente requerimos [1 y 5].

Evapotranspiración

Incluye el agua retirada de una región por los siguientes mecanismos:

Evaporación: Pasaje de agua superficial del estado líquido al gaseoso, fenómeno que depende directamente de la temperatura y humedad relativa del aire.

Transpiración: Proceso por el cual las plantas retiran la humedad del suelo a través de sus raíces y la liberan en el aire bajo forma de vapor por medio de los estomas existentes en las hojas.

Precipitación

Es el conjunto de aguas originadas en el vapor de agua atmosférico que al llegar a las regiones frías, se condensan y caen en estado

líquido (lluvia, neblina) o sólido (granizo, nieve) sobre la superficie de la Tierra.

Infiltración

Es el proceso por el cual parte del agua precipitada sobre la superficie del planeta llega al subsuelo formando la napa freática y los acuíferos artesianos.

Napa freática, Es aquella en la que el agua se encuentra libre, con su superficie bajo la acción de la presión atmosférica.

Acuífero confinado, Es aquel en el que el agua se encuentra confinada por capas superiores impermeables del subsuelo, sujetas por lo tanto a una presión superior a la atmosférica.

Escurrimiento superficial

Es el escurrimiento sobre el terreno por acción de la gravedad, del agua precipitada de la atmósfera que no se infiltra al suelo o que no regresa directamente a la atmósfera mediante la evapotranspiración.



Fuente; <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>

El agua proveniente de fuentes superficiales, tales como ríos, arroyos, lagos, etc., presenta en general características que la hacen no aceptable para el consumo humano, si no se realiza un acondicionamiento previo, al que llamamos tratamiento de potabilización.

Esas características del agua, que la hacen indeseable, se deben a la presencia de partículas de pequeño tamaño, que pueden ser de origen mineral, vegetal, además de microorganismos tales como algas, bacterias y virus.

El operador de tratamiento, debe conocer ciertas características básicas del agua, para poder operar una planta de tratamiento en forma eficiente, y poder entender los procesos unitarios que se describen en este manual.

TURBIEDAD

Es el parámetro más conocido y utilizado en la operación de plantas potabilizadoras, y es hasta el momento, la principal herramienta de control que se tiene para evaluar eficiencias en la clarificación.

Se define como la capacidad que tiene el agua para dispersar un haz de luz que la atraviesa, producto del choque con las partículas pequeñas que contiene, por ejemplo: arcillas, algas, bacterias, etc.

Para medir la turbiedad, se utiliza un aparato llamado turbidímetro, que mide la cantidad de luz que se dispersa a 90° de la luz incidente, y calibrado mediante patrones conocidos en unidades nefelométricas de turbiedad (NTU).



La Norma Interna de Calidad de Agua Potable de OSE (aprobada por R/D N°1628/12 del 21/11/2012) establecen para el agua librada al consumo (salida de Usina), un máximo de turbiedad de 1 NTU. Para la red de distribución se establece un máximo de 3 NTU.

Igualmente, es recomendable a la salida de las plantas de tratamiento, obtener una turbiedad inferior a 0,5 NTU, para que el proceso de desinfección se desarrolle con efectividad.

COLOR

Es la capacidad que tiene el agua de absorber determinada gama de longitud de onda de la luz incidente.

Las principales causas de color en las aguas superficiales, son la presencia de productos de la descomposición de materia orgánica, finamente dividida, llamadas sustancias húmicas.

El tamaño de las partículas que confieren color al agua, es sensiblemente menor que el de las partículas (generalmente arcillas), causantes de turbiedad.

Se debe distinguir el color verdadero del aparente. El color verdadero, es aquel que se obtiene luego de eliminar toda la turbiedad presente, por centrifugación de la muestra, de modo que no se registre como color parte de la turbiedad.



El color verdadero, es aquel que se obtiene luego de eliminar toda la turbiedad presente

El color aparente en cambio, se mide directamente en presencia de turbiedad, por lo que incluye parte de ésta, y no nos brinda demasiada información respecto a la composición del agua.

El color se mide mediante un aparato comparador, en Unidades de Platino-Cobalto (U.Pt-Co).

La Norma Interna de Calidad de Agua Potable de OSE establece para el color, un límite superior de 15 U.Pt-Co en el agua de consumo.

Cuando el agua bruta tiene color elevado (encima de 100 unidades), es un indicador de la presencia de material orgánico degradado, que interfiere con los procesos de tratamiento del agua, y se necesitan mayores dosis de coagulantes. En general, el agua con elevado color, presenta mayores dificultades de tratamiento que el agua con elevada turbiedad, formándose coágulos más débiles y livianos, difíciles de sedimentar.

La cloración de aguas muy coloreadas, genera la formación de trihalometanos, que son compuestos secundarios de la cloración, potencialmente cancerígenos. La precloración, que significa clorar el agua no clarificada, debe ser evitada en esas condiciones, siendo recomendable para estos casos, la intercloración, que consiste en clorar el agua sedimentada, cuando ya se ha eliminado gran parte del color.

ALCALINIDAD

Es la capacidad que tiene el agua de neutralizar ácidos, y se debe a la presencia de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, dependiendo la presencia de una u otra especie, del pH del agua. En general, es la presencia de bicarbonatos la causante de la alcalinidad de nuestras aguas superficiales. La unidad de medida es parte por millón de carbonato de calcio (ppm de CaCO_3).

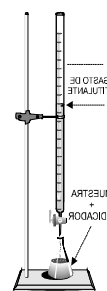
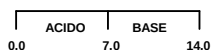
Se requiere que el agua tenga alcalinidad suficiente para reaccionar con el sulfato de aluminio agregado para la coagulación.

Se requiere que el agua tenga alcalinidad suficiente para reaccionar con el sulfato de aluminio agregado para la coagulación. En cambio, cuando esta es muy alta, se necesitan dosis muy elevadas de sulfato, aumentando los costos del tratamiento.

pH

Es un parámetro utilizado para expresar la intensidad ácida o básica de una solución.

El pH, es expresado por una escala que varía desde 0 a 14, siendo el $\text{pH} = 7$ neutro, mientras que los valores inferiores a 7 representan acidez, y los superiores a 7 representan que la solución es básica.

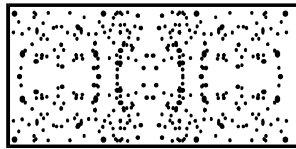


El pH para el cual se obtiene la máxima eficiencia en la coagulación, se llama pH óptimo

Este parámetro, juega un papel fundamental en el tratamiento, existiendo en la práctica para cada tipo de agua, valores de pH bajo los cuales se tienen condiciones óptimas de coagulación. El pH para el cual se obtiene la máxima eficiencia en la coagulación, se llama pH óptimo, y puede ser determinado, para cada caso particular, mediante ensayos de jarras.

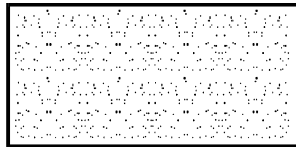
Según las normas de calidad de aguas de OSE, se puede librar al consumo público, aguas con pH comprendido entre 6,5 y 8,5.

TURBIEDAD

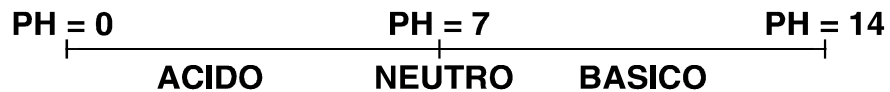


MATERIAL INORGANICO
PROVENIENTE DE
LA EROSION DEL SUELO:
ARCILLA (TIERRA FINA)

COLOR



MATERIAL PROVENIENTE DE LA
DESCOMPOSICION DE MATERIA
ORGANICA, HOJAS, PLANTAS, ALGAS ETC.
EL TAMAÑO DE ESTAS PARTICULAS ES MUCHO
MENOR QUE EL DE LAS PARTICULAS DE TURBIEDAD.



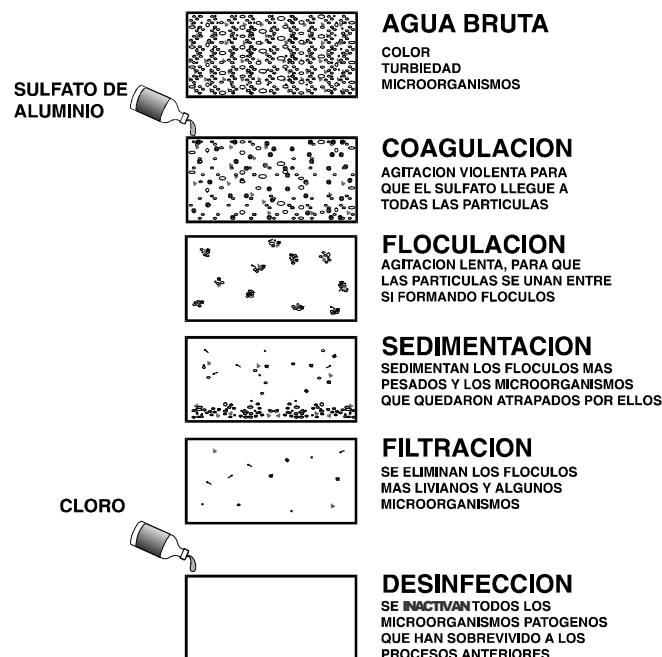
REFERENCIAS

1. Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Boas práticas no abastecimento de água : procedimentos para a minimização de riscos à saúde /Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília : Ministério da Saúde, 2006.
2. USEPA, The History of Drinking Water Treatment. February 2000.
3. Hassan, F., Water and Ethics, A Historical Perspective, UNESCO, 2004.
4. Shiklomanov, I., World Water Resources, A New Appraisal and Assessment for the 21st Century, UNESCO, 1998.
5. Odum, E.P. y Sarmiento, F.O., Ecología, El puente entre ciencia y sociedad, McGraw Hill, México, 1998.
6. Tsutiya, M. Abastecimento de Agua, 2^a edición, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica de Sao Paulo, 2005.

DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO

El proceso de tratamiento consta básicamente de dos etapas, la primera de clarificación, en la cual se eliminan las partículas que le quitan claridad al agua, y la desinfección, que consiste en inactivar los microorganismos patógenos presentes.

Los procesos unitarios que se desarrollan, son: coagulación, floculación, sedimentación y filtración, que conforman la etapa de clarificación, y la desinfección, aunque este último tiene lugar fuera de las instalaciones de la planta.



COAGULACION

Si se dejara decantar un agua natural, tal cual se extrae de un río o arroyo, al ser tan livianas las partículas que conforman la turbiedad y el color, estas no decantarían nunca y por lo tanto no se lograría clarificar el agua.

Estas partículas se encuentran en general cargadas negativamente, y debido a que cargas del mismo signo se repelen, no es posible en esas condiciones agruparlas entre sí, para obtener otras de mayor tamaño.

La coagulación, consiste en la neutralización de esas partículas, mediante el agregado de cargas de signo positivo, a través de un producto llamado coagulante, generalmente sulfato de aluminio



La coagulación, consiste en la neutralización de esas partículas, mediante el agregado de cargas de signo positivo, a través de un producto llamado coagulante, generalmente sulfato de aluminio. Este proceso tiene una duración de unos pocos segundos, y es necesario que se produzca una agitación violenta para que el coagulante se mezcle completamente con el agua, en un tiempo lo más corto posible. Ese punto de máxima agitación, en donde se inyecta el coagulante, se llama mezcla rápida.

Mecanismos de mezcla rápida

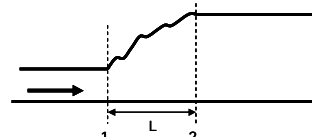
PLACA ORIFICIO:

Un mecanismo aplicado en nuestras usinas es el de la placa orificio y consiste en una placa con un orificio de menor diámetro que la tubería, esto produce una depresión en el agua y un aumento de velocidad que provoca una turbulencia, el coagulante se aplica por lo general un poco antes de que pase por la placa. Este mecanismo se utiliza en las plantas de tratamiento del tipo UPA en la cual se complementa el depósito por donde llega a la planta.



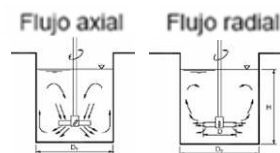
RESALTO HIDRÁULICO

Esto se puede producir en vertederos y en canaletas Parshall. En este sistema se debe tener especial cuidado en la forma de aplicación del coagulante para que se distribuya en forma adecuada en el agua a tratar. Este proceso es el más común en la mayoría de las plantas de tratamiento de nuestro país y es el proceso empleado en la planta de Aguas Corrientes.



MEZCLADOR MECÁNICO

El agua ingresa a una cámara donde la turbulencia es producida por un agitador mecánico, los agitadores más comunes son los de turbina. Ellos pueden ser de flujo axial o de flujo radial como muestra la figura.



Para cada etapa del tratamiento existe un gradiente de velocidad adecuado, especialmente en las etapas de coagulación y floculación.

Gradiente de velocidad

El gradiente de velocidad, habitualmente indicado por la letra G , es un parámetro que representa el grado de agitación a que está sometida el agua y se mide en s^{-1} (segundos a la menos uno). Durante la mezcla rápida el gradiente de velocidad debe ser alto para que el coagulante se disperse rápidamente en el agua y se produzca una buena mezcla, para esta etapa se recomienda que el valor sea superior a $800 s^{-1}$.

El gradiente de velocidad se define mediante la siguiente expresión:

$$G = \sqrt{\frac{P}{\nu V}}$$

- G** Gradiente de velocidad en s^{-1} (segundo a la menos uno)
- P** Potencia aplicada al flujo en J/s (Joules por segundo)
- ν** Viscosidad en $kg/m/s$ (kilogramos por metro por segundo)
- V** Volumen de la cámara en m^3 (metros cúbicos)

Observando la ecuación anterior podemos concluir que:

- Cuanto mayor es el potencial que se entrega, mayor será el gradiente de velocidad.
- La viscosidad del agua depende de la temperatura, por lo que el gradiente de velocidad será influenciado por los cambios de temperatura.

Ejercicio 2.1: Observando las tablas de gradientes para las plantas UPA que se encuentran en el “Apéndice 3” de este manual, para una misma velocidad de rotor (ver RPM) responda la siguiente pregunta: ¿Qué ocurre con el gradiente de velocidad cuando aumenta la temperatura?

Alcalinidad y coagulante

La alcalinidad es imprescindible para la coagulación. El agua debe tener alcalinidad suficiente para satisfacer la demanda producida por el coagulante.

Coagulantes

Los coagulantes más usados son los siguientes:

- ♦ sulfato de aluminio
- ♦ cloruro férrico
- ♦ sulfato ferroso
- ♦ polielectrolitos catiónicos

El más utilizado en OSE, es el sulfato de aluminio. Este debe agregarse al agua en determinada cantidad, de modo que sea suficiente para la coagulación, pero que no sea excesivo porque produce efectos negativos sobre el proceso.

Dosis

La DOSIS de coagulante (Sulfato de Aluminio) es la cantidad que se agrega por unidad de volumen de agua tratada. Se mide en ppm (partes por millón), mg/l (miligramos por litro) o g/m^3 (gramos por metro cúbico).

FLOCULACION

Luego de coagulada el agua, las partículas no presentan carga en su superficie, y no existen impedimentos para que se unan entre sí. Para

La herramienta principal para determinar la dosis necesaria, es el ensayo de jarras (Jar-Test)

ppm = mg/l = g/m^3

lograr esto, el agua se debe agitar lentamente, de modo que las partículas coaguladas, al chocar, se vayan uniendo para dar lugar a otras de mayor tamaño, llamadas flóculos. Ese proceso se llama floculación, y debe hacerse bajo condiciones controladas, pues una agitación muy violenta en esta etapa puede producir rotura de flóculos ya formados, en cambio una agitación muy lenta puede dar lugar a la formación de flóculos "esponjosos" y débiles, difíciles de sedimentar.

En esta etapa los valores típicos de G se encuentran entre 15 s^{-1} y 100 s^{-1} .

El gradiente adecuado, puede determinarse para las condiciones locales de tratamiento, es decir para las características propias del agua a ser tratada, mediante ensayo de jarras, variando la velocidad de las paletas de modo de encontrar la velocidad de giro que produce mejores resultados. Puede encontrarse entonces para cada tipo de agua bruta, los gradientes óptimos de mezcla rápida y de floculación, que producen los mejores resultados en la separación de partículas por sedimentación.

En general en los floculadores hidráulicos, el operador no puede variar el gradiente de velocidad, sí puede hacerlo en los floculadores mecánicos, cambiando la velocidad de giro del rotor.

Una consideración importante es que dentro del proceso de tratamiento, en el sentido del flujo de agua, los gradientes deben ser de valor decreciente.

Por ejemplo en el caso de una UPA (200, 1000 o 2000) esto implica:

- un gradiente alto para la mezcla rápida (coagulación).
- un gradiente medio para la floculación mecánica.
- un gradiente igual o menor en la floculación hidráulica.

De no cumplirse esta condición, es posible que se produzca rotura de flóculos, con su consecuente efecto negativo sobre el proceso de sedimentación siguiente.

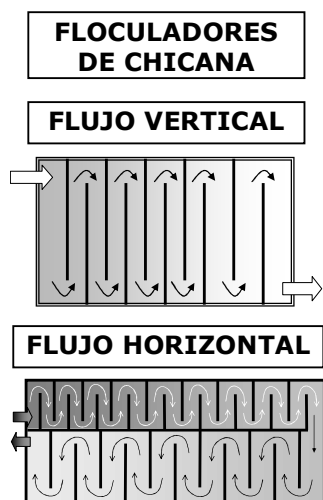
Mediante la floculación, teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se logra que los flóculos adquieran las características necesarias de tamaño, consistencia y peso específico necesarios para una sedimentación eficiente.

Tipo de Floculadores

Floculadores hidráulicos de chicanas:

En los floculadores de chicanas para que se produzca el choque de partículas el agua está obligada a realizar un recorrido en zigzag. Las chicanas forman canales por los que debe pasar el agua. En este sistema el gradiente de velocidad depende de la separación de las chicanas. Cuando el agua recorre canales muy estrechos los recorrerá a mayor velocidad que en los canales más anchos.

Se proporciona una tabla con los gradientes en función de la velocidad de giro del rotor.



Floculadores mecánicos:

La floculación mecánica consiste en introducir la energía para agitar el agua, mediante paletas accionadas por un motor.

Este mecanismo permite variar el gradiente de velocidad modificando la velocidad del motor.

Existen floculadores mecánicos de eje vertical de flujo radial y de flujo axial y floculador de eje horizontal.



Tiempo de retención:

Es un parámetro muy importante para el proceso de floculación y se define como el tiempo medio que permanece el agua dentro de la unidad de floculación como para la sedimentación.

Para calcular este parámetro debemos dividir el volumen del floculador (en m^3) entre el caudal de agua que procesa (en m^3/h), a este resultado lo multiplicamos por 60 (para que el resultado sea en minutos).

$$T = \frac{V}{Q} \times 60$$

T: Tiempo de retención (minutos)
V: Volumen de floculador (m³)
Q: Caudal de la planta (m³/h)

Ejemplo 2.1:

Calcular el tiempo de retención en el floculador mecánico de una UPA 200 cuando el caudal es 15 m³/h y las dimensiones son: 1,2 m de largo, 1,5 m de ancho y 2,08 m de profundidad.

Resolución:

Cálculo de Volumen del floculador.

Volumen = Largo x Ancho x Profundidad

$$V = 1,2 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 2,08 \text{ m} = 3,74 \text{ m}^3$$

Cálculo de tiempo de retención

Tasa = Volumen / Caudal x 60

$$T = (3,74 \text{ m}^3 / 15 \text{ m}^3/\text{h}) \times 60 \text{ min/h} = 15 \text{ min}$$

Ejemplo 2.2:

Si quisiéramos conocer el tiempo de retención total de la etapa de floculación, deberíamos considerar también el floculador hidráulico que tiene por dimensiones: 0,4 m de largo, 1,5 m de ancho y 2,07 m de profundidad.

Resolución:

Cálculo de Volumen del floculador hidráulico.

Volumen = Largo x Ancho x Profundidad

$$V = 0,4 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 2,07 \text{ m} = 1,24 \text{ m}^3$$

Cálculo de Tiempo de retención

Tasa = Volumen / Caudal x 60

$$T = (1,24 \text{ m}^3 / 15 \text{ m}^3/\text{h}) \times 60 \text{ min/h} = 5 \text{ min}$$

Tiempo de retención total

Tiempo de retención total = Tiempo de retención Floculador mecánico + Tiempo de retención floculador hidráulico

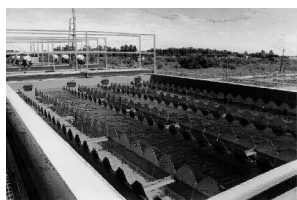
$$T_T = 15 \text{ min} + 5 \text{ min} = 20 \text{ min}$$

Para cada tipo de agua bruta existe un tiempo de retención y un gradiente de velocidad óptimos, para los cuales el proceso de floculación es más eficiente. En general, los mismos están comprendidos entre 15 minutos y 40 minutos para el tiempo de retención y 15 s⁻¹ a 100 s⁻¹ para el gradiente de velocidad.

SEDIMENTACIÓN

La sedimentación o decantación, es la primera etapa efectiva de separación de partículas del agua, donde se logra una reducción de turbiedad y color con respecto al agua bruta.

En el sedimentador, al reducirse la velocidad de circulación del agua, se produce por acción de su propio peso, una caída de las partículas hacia el fondo de la unidad. Esa sedimentación de los flóculos, le otorga al agua una claridad mayor que la inicial, al estar estos conformados por gran parte de la turbiedad y el color presentes en el agua bruta.





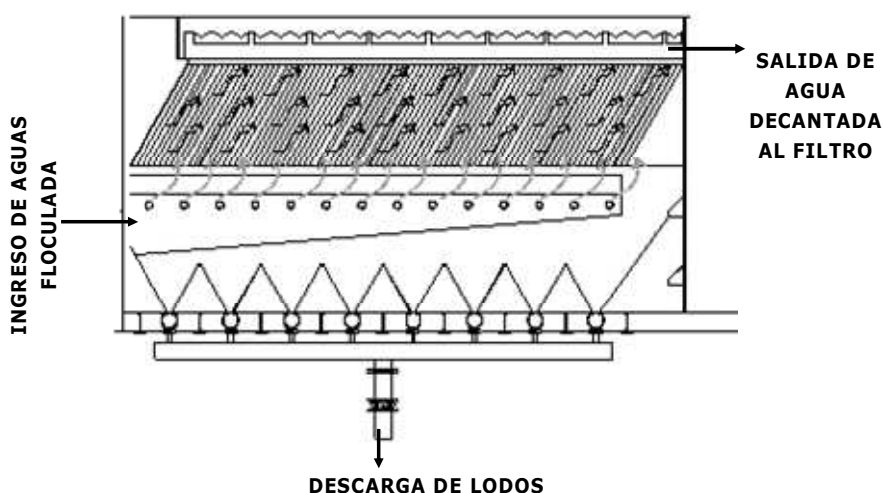
Tipo de sedimentadores

Existen básicamente tres tipos de sedimentación:

- ◆ Sedimentación convencional (tradicional de flujo horizontal)
- ◆ Sedimentación de manto de lodos.
- ◆ Sedimentación de flujo laminar.

Las plantas potabilizadoras UPA, están equipadas con sedimentadores de flujo laminar, de placas planas paralelas.

El agua ingresa a través de un conducto longitudinal, ubicado en el sector inferior de la unidad, y luego asciende a través de las placas, que es donde efectivamente sedimentan las partículas. El barro escurre hacia el fondo, y el agua clarificada se recoge en la superficie mediante canaletas con vertederos laterales.



Es imprescindible que las canaletas de recolección de agua sedimentada estén perfectamente niveladas, de lo contrario se generan corrientes preferenciales que distorsionan el funcionamiento del sedimentador.

La extracción de los barros, por simple acción de la presión hidráulica, se realiza desde el exterior, mediante la operación de válvulas.

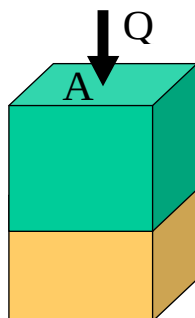
En el sedimentador, si las condiciones anteriores de tratamiento son adecuadas, se separan del agua aquellas partículas que tienen una densidad superior, mientras que los flóculos más pequeños y livianos, son eliminados posteriormente por filtración.

Tiempo de retención:

Es el tiempo que permanece el agua dentro del sedimentador y se calcula igual que para el floculador.

Tasa de sedimentación:

Este parámetro se conoce también como CARGA SUPERFICIAL, es muy utilizado para evaluar el funcionamiento de los sedimentadores y



representa el caudal aplicado por unidad de área de sedimentador; de alguna medida la eficiencia del proceso depende de ese parámetro.

$$\text{Tasa} = \frac{Q}{A}$$

Tasa: Tasa de sedimentación ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ ó m/h)

Q: Caudal de la planta (m^3/h)

A: Área del sedimentador (m^2)

Cuando un sedimentador trabaja a una TASA muy elevada, significa que el caudal es muy grande con relación a su área y esto puede provocar arrastre de flóculos hacia los filtros.

Valores recomendados de tasas de sedimentación

Tipo de sedimentador	Tasa de Sedimentación (m/h)
Sedimentadores Convencionales	0,6 a 2,0
Sedimentadores de Manto de Lodos	1,5 a 2,5
Sedimentadores de Flujo Laminar	3,0 a 6,0

Tabla 2.1 Los valores indicados corresponden a sistemas que funcionan con sulfato de aluminio como coagulante. Mediante el uso de polielectrolitos pueden aumentarse dichos valores.

Ejemplo 2.3:

Calcular la tasa de sedimentación con que opera una UPA 200, para un caudal de $15 \text{ m}^3/\text{h}$ y las dimensiones son: 2,20 m de largo y 1,50 m de ancho.

Cálculo del área del sedimentador:

Área = Largo x Ancho

$A = 2,20 \text{ m} \times 1,50 \text{ m} = 3,30 \text{ m}^2$

Cálculo de la TASA de sedimentación

TASA = Caudal : Área

$\text{Tasa} = 15 \text{ m}^3/\text{h} : 3,30 \text{ m}^2 = 4,5 \text{ m}/\text{h}$

Ejemplo 2.4:

Calcular la tasa de sedimentación si la UPA del ejemplo anterior opera con un caudal de $25 \text{ m}^3/\text{h}$.

Cálculo de la TASA de sedimentación

TASA = Caudal : Área

$\text{TASA} = 25 \text{ m}^3/\text{h} : 3,30 \text{ m}^2 = 7,5 \text{ m}/\text{h}$

La TASA obtenida en el **Ejemplo 2.3** es adecuada para trabajar con sulfato de aluminio únicamente, en cambio la TASA obtenida en el **Ejemplo 2.4** es muy alta, para este caso puede recurrirse a la aplicación de **polielectrolitos** que aumenta el peso de los flóculos y permite trabajar con TASAS más elevadas.

FILTRACIÓN

La filtración, consiste en pasar el agua a través de un medio poroso, en la mayoría de los casos formado por arena seleccionada, es la etapa final del proceso de clarificación, y la que debe dar las



garantías de que el agua cumpla con las normas de calidad en cuanto a turbiedad y color.

La arena que constituye el manto filtrante, se caracteriza por dos parámetros: tamaño efectivo y coeficiente de uniformidad, que se determinan a través de ensayos granulométricos. Estos ensayos granulométricos consisten en hacer pasar una muestra de arena seca y pesada, a través de una serie de tamices de aberturas conocidas, y medir el peso retenido en cada uno.

Tamaño efectivo: es la apertura del tamiz por el cual pasa el 10% en peso de la arena. Representa el tamaño de la porción más fina.

Coeficiente de uniformidad: Es un parámetro utilizado para calcular el grado de uniformidad en el tamaño de los granos que componen la arena. Se calcula dividiendo el tamaño de apertura del tamiz por el cual pasa el 60% en peso de arena, entre el tamaño efectivo.

OBS: Cuando menor es el coeficiente de uniformidad, implica que la arena está conformada por granos mas uniformes en tamaño.

Los filtros de las plantas modulares tienen arena con: Tamaño efectivo = 0,5 mm y Coeficiente de uniformidad: menor que 1,75

En el filtro, se retienen aquellas partículas de menor densidad (flóculos pequeños), y las que por algún motivo no fueron eliminadas en el sedimentador. Además de lo indicado, en la actualidad se considera a la filtración como una de las barreras principales para la retención de microorganismos patógenos.

La planta UPA200 cuenta con un filtro rápido de arena, de 1,5 m x 1,5 m de superficie, con un manto de arena de 60 cm de espesor. La planta UPA2000 en cambio, tiene 4 filtros de 2,50 m x 1,75 m, que trabajan en forma simultánea, por lo que la operación es un poco más compleja.

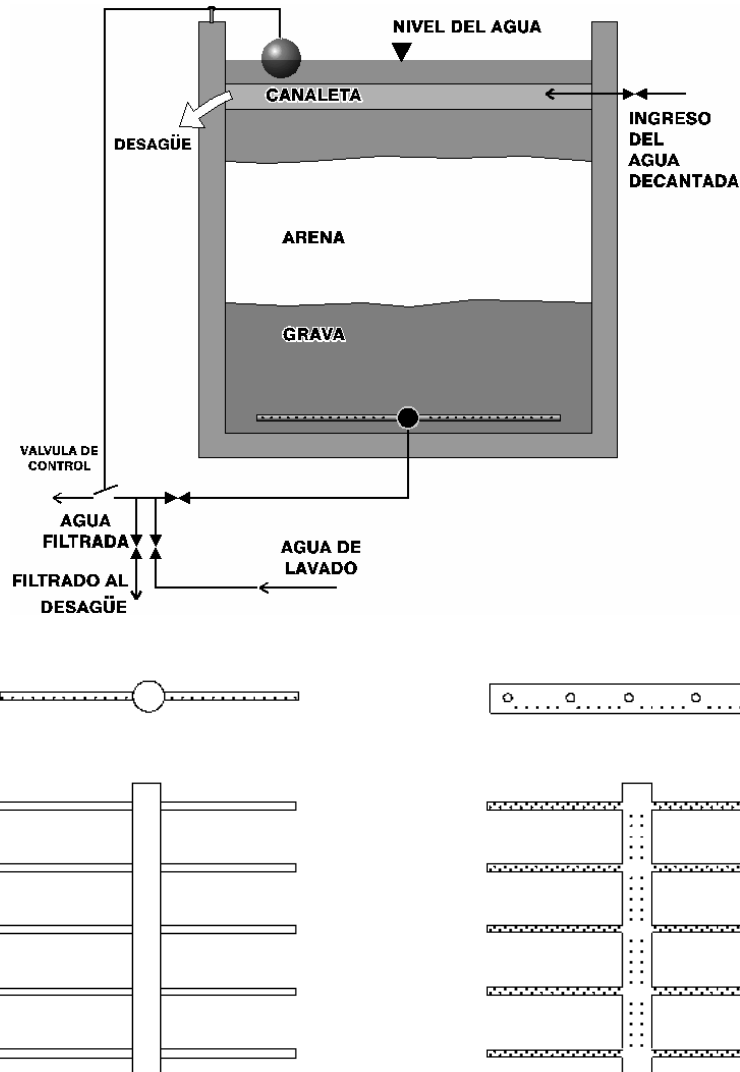
En ambos casos, los filtros son de flujo descendente, y el agua filtrada se recoge en la parte inferior de la planta, a través de un múltiple con laterales perforados sumergido en un manto de grava, que sirve como soporte de la arena evitando que esta penetre en los orificios.

Luego de ciertas horas de operación, dependiendo de las características del agua sedimentada, el filtro acumula en su interior muchas impurezas, que impiden la circulación del agua. En ese momento, el filtro deberá lavarse, mediante una corriente de agua potable en sentido contrario al flujo habitual, es decir en forma ascendente. La duración del lavado puede estar comprendida entre un mínimo de 5 minutos y un máximo de 10 minutos, dependiendo lógicamente de la suciedad acumulada durante el funcionamiento.

El tiempo transcurrido entre dos lavados consecutivos del filtro, se llama "carrera de filtración", que habitualmente, en filtros de buena performance, es superior a 24 horas, aunque se recomienda no superar las 48 horas para evitar problemas de contaminación.

Si la calidad del agua sedimentada no es buena, el filtro recibe un volumen mayor de impurezas, y por lo tanto su carrera disminuye, pudiendo en ciertos casos ser de ocho horas o menor.

Tasa de filtración



La tasa de filtración es referida al área del filtro.

También se llama carga superficial, velocidad de filtración o de aproximación. La velocidad del agua dentro del lecho filtrante es mayor, en función de la porosidad del mismo.

$$T.F. = \frac{Q}{A}$$

T.F.: Tasa de filtración (m/h ó m/día)
 Q: Caudal de la planta (m³/h o m³/día)
 A: Área del filtración (m²)

Para calcular la tasa de filtración, usamos la misma fórmula que usamos para calcular la tasa de sedimentación, pero con las dimensiones del filtro

La tasa con la que puede operar un filtro depende fuertemente de: las características del agua afluente, la granulometría y profundidad del manto, el sistema de control de filtración, la estructura de la caja del filtro.

Los filtros de granulometría convencional (Te 0,45 – 0,55 mm, CU < 1,75 y espesor de manto 0,60 m), no son eficientes para tasas superiores a 180 m/día.

Los filtros de lecho mixto (arena y antracita) o de lecho profundo (> 1,0 m) pueden operar con tasas superiores a 400 m/día.

VALORES TÍPICOS DE LA TASA DE FILTRACIÓN

Tipo de filtro	Tasa de filtración (m ³ /m ² /h)	L manto/Te
Lecho simple (arena)	Máxima 8, media 6	>=1000
Lecho mixto (arena-antracita)	10-20	>=1000

Lavado de filtro

La inyección de agua para el lavado, se realiza a través del mismo sistema que sirve para recolectar el agua filtrada, ingresando al filtro bajo presión por los orificios de los caños que se encuentran sumergidos dentro del manto de grava.

DESINFECCIÓN

Tiene por objetivo garantizar la potabilidad del agua desde el punto de vista microbiológico, asegurando la ausencia de microorganismos patógenos (que puedan afectar la salud).

Esta etapa se realiza después de sedimentar y filtrar el agua, luego que por estos procesos se haya eliminado gran parte de las partículas y microorganismos presentes en el agua bruta. Esta condición es imprescindible, porque la presencia de turbiedad y color, dificulta la acción de los desinfectantes.



La desinfección consiste en el agregado al agua de un agente químico para destruir microorganismos que puedan transmitir enfermedades utilizando el agua como vehículo pasivo.

En el agua, existen tres categorías de organismos potencialmente patógenos:

- ◆ Virus
- ◆ Bacterias
- ◆ Protozoarios

Entre las bacterias más comunes, se encuentran:

Salmonelas (tíficas y paralíticas), Shigellas (disenterías), Vibrio Cholerae (cólera), E. Coli (diarreas).

Son innumerables las pérdidas humanas que a través de la historia, se han producido por deficiencias en la desinfección del agua, o por ingerir agua contaminada y no tomar las precauciones necesarias de desinfectarla previamente.

Los desinfectantes más utilizados para tratamiento de agua, son los siguientes:

- ◆ Cloro
- ◆ Ozono
- ◆ Dióxido de cloro
- ◆ UV
- ◆ Plata ionizada

Desinfección mediante cloro

El agente desinfectante más común y universalmente usado es el CLORO, el cual es eficiente, sencillo en su aplicación y tiene la capacidad de dejar una porción residual, que sigue actuando en las redes de distribución.

El cloro puede ser utilizado en forma de cloro gaseoso, almacenado bajo presión en cilindros metálicos, o a través de alguna de sus sales, como el hipoclorito de sodio o de calcio.

El punto de aplicación del desinfectante, debe estar ubicado de modo de clorar el agua ya filtrada, previo al ingreso al depósito de reserva, de modo que se garantice un tiempo de contacto de al menos media hora.

Bajo ciertas condiciones, además de la desinfección final, en algunos casos se realiza cloración del agua bruta (precloración), principalmente para reducir la carga orgánica que llega a la planta. Este hecho es poco aconsejable debido a los subproductos nocivos para la salud que se generan por la presencia de elementos contenidos en las aguas naturales, especialmente cuando existe mucho color.

Cuando se aplica cloro al agua, se producen tres tipos de reacciones:

1. La reacción con el agua, produciendo **ACIDO HIPOCLOROSO** e **ION HIPOCLORITO**, que conforman el **CLORO LIBRE**.
2. Reacciones con el nitrógeno amoniacal para producir cloraminas, a las cuales se llama cloro combinado utilizable, o más comúnmente **CLORO COMBINADO**.
3. Reacciones con materia orgánica y algunas sustancias químicas (hierro, manganeso, nitritos), formando algunos

compuestos clorados que conforman el cloro combinado no utilizable o **DEMANDA DE CLORO**

El poder desinfectante del cloro libre

Es mayor que el del cloro combinado, el cual necesita dosis más altas y mayores tiempos de contacto con el agua.

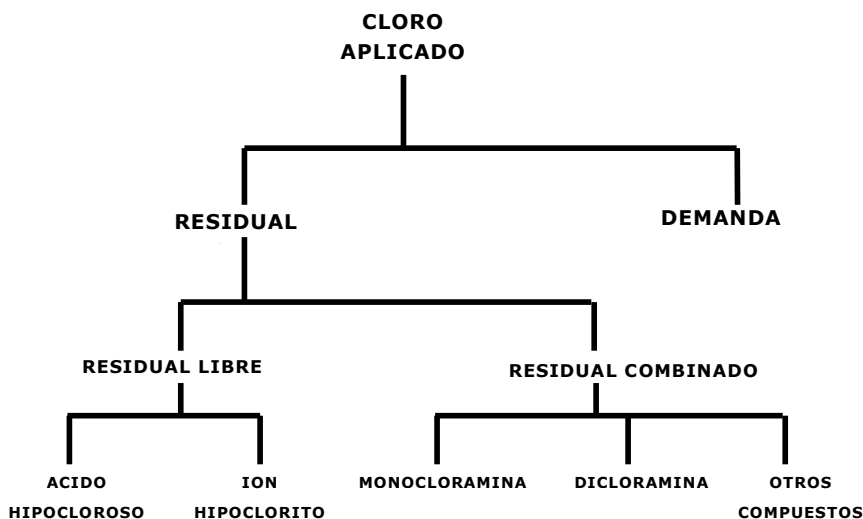
El cloro combinado

Si bien tiene menor poder desinfectante, perdura más en el agua que el cloro libre. Para generar el cloro combinado, además de cloro se debe agregar amoníaco.

La presencia de ácido hipocloroso e ion hipoclorito, depende fuertemente del pH del agua. A valores bajos de pH, predomina el ácido hipocloroso, que es el desinfectante más poderoso.

A modo de ejemplo

Si el pH del agua filtrada y clorada es igual a 7, el 75 % del cloro libre se encuentra como ácido hipocloroso y el 25 % se encuentra como ion hipoclorito; en cambio, si el pH del agua es igual a 8, se da la situación inversa, por lo que tendremos condiciones más desfavorables para la desinfección.



DOSIS DE CLORO

Representa el cloro aplicado por unidad de volumen de agua tratada. Se mide habitualmente en ppm (partes por millón), que es equivalente a los gramos de cloro aplicados por metro cúbico de agua. Si bien es aventurado adelantar un valor de la dosis necesaria de cloro, sin

conocer las características particulares del agua y de las instalaciones, un valor de referencia es del orden de 2 ppm.

Condiciones para una eficiente desinfección

1. El valor medio de la turbiedad antes de la desinfección, no debe exceder de 1 NTU, y el color verdadero de 5 U.Pt-Co.
2. El cloro residual libre, luego de un tiempo de contacto con el agua (al menos media hora), debe ser mayor o igual a 0,5 mg/l, a un pH máximo de 7,8.
3. Los procesos de clarificación deben actuar eficientemente, especialmente la etapa de filtración, controlando la eficiencia de los filtros en remoción de microorganismos.

Toxicidad del cloro

Es necesario señalar que el cloro es altamente tóxico para la salud humana, y debe evitarse su inhalación, sobre todo en períodos prolongados. En caso de utilizarse cloro gas para la desinfección, se hace imprescindible la colocación de detectores de cloro en el ambiente, equipados con alarmas correctamente calibradas.

PRODUCTOS QUÍMICOS USADOS EN TRATAMIENTO

Dosis y concentración de soluciones

En el proceso de potabilización es necesario el agregado de diversos productos químicos en una cantidad adecuada.

Dosis

El peso de producto químico que se aplica en una unidad de volumen de agua a tratar se denomina dosis

Existen variadas formas de expresar una dosis. En tratamiento de agua, la forma más usual es expresar la dosis en partes por millón (ppm), que es equivalente a los miligramos (mg) que se adicionan a un litro (l) de agua, o los gramos (g) que se adicionan a un metro cúbico (m³) de agua.

Concentración

La concentración de solución a aplicar, se expresa habitualmente como:

- Concentración expresada en porcentaje C(%), gramos de producto en 100 gramos de solución.
- Concentración expresada en gramos por litro C(g/l), esto es, gramos de producto en 1 litro de solución.

Importante: Para soluciones diluidas (densidad próxima a 1000 g/l) la concentración en gramos por litro es aproximadamente igual a la concentración en porcentaje multiplicada por 10. Es decir $C(g/l) = C(\%) \times 10$.

PRINCIPALES PRODUCTOS QUÍMICOS USADOS EN TRATAMIENTO DE AGUA Y SUS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS.

PRODUCTO QUÍMICO	APLICACIÓN
Ácidos clorhídrico y sulfúrico	Ajuste de pH
Amoníaco	Formación de cloraminas
Bicarbonato de sodio	Ajuste de pH
Carbón activado	Remoción de sabor, olor, compuestos orgánicos en general
Cloruro férrico	Coagulación
Cloro	Desinfección, oxidación
Dióxido de cloro	Desinfección, oxidación
Hidróxido de calcio (cal hidratada) y de sodio	Ajuste de pH de coagulación, corrección final de pH.
Hipoclorito de sodio	Desinfección, oxidación
Hipoclorito de calcio	Desinfección, oxidación
Oxido de calcio (cal viva)	Ajuste de pH de coagulación, corrección final de pH
Ozono	Desinfección, oxidación
Permanganato de potasio	Remoción de olor y sabor, oxidación
Sulfato de aluminio	Coagulación
Sulfato de cobre	Control de algas
Sulfato ferroso	Coagulación
Polielectrolitos	Auxiliar de coagulación/floculación

Tabla 3.1

COAGULANTE

SULFATO DE ALUMINIO

Es el coagulante más usado en el Uruguay, de fórmula química $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$. Para ser aplicación, es necesario diluirlo, en general se recomienda llevarlo a una concentración de entre el 1 y el 2 %.

En cuanto a la calidad se definen dos tipos: Sulfato de Aluminio Técnico y Sulfato de Aluminio Comercial.

O.S.E. adquiere Sulfato de Aluminio Técnico en polvo, Sulfato de Aluminio Comercial Granular y Sulfato de Aluminio Comercial Líquido.

La forma de almacenamiento del mismo en el caso de ser entregado en bolsas puede ser efectuado en pilas, teniendo en cuenta que si la operación de apilado fuera manual la altura de cada pila no debe exceder 1,8 metros. Es conveniente el uso de tabloncillos para no apoyar las pilas directamente en el piso ni contra las paredes.

Se debe tener un stock mínimo que nunca deberá ser menor a 10 días de funcionamiento.

ALCALINIZANTES

El sulfato de aluminio reacciona con la alcalinidad produciendo un descenso de la misma acompañado de un descenso del pH.

En caso que se necesite adicionar al agua mas sulfato de aluminio del que reacciona con la alcalinidad natural del agua es necesario alcalinizar previamente a la adición del coagulante, a este procedimiento se le denomina prealcalinización.

Por otro lado el descenso en el pH puede ser tal que luego de la adición del coagulante el agua se encuentre con un pH menor de 6,5 (las normas de calidad de OSE establecen que el pH debe estar comprendido entre 6,5 y 8,5), en este caso se debe adicionar un alcalinizante para subir el pH, el agregado de este producto se realiza al final del depósito de agua clara para permitir una mejor desinfección. Se denomina a este procedimiento post-alcalinización.

Por último también puede agregarse un alcalinizante para llevar la alcalinidad y el pH a determinados valores para evitar la corrosión de las cañerías, en este caso se debe post-alcalinizar.

Los alcalinizantes más usados son:

- ♦ Ceniza de soda (carbonato de sodio Na_2CO_3).
- ♦ Soda cáustica (hidróxido de sodio $NaOH$).
- ♦ Cal hidratada (hidróxido de calcio $Ca(OH)_2$).

La soda cáustica puede ser suministrada en forma líquida con una concentración de 500 g/l o sólida en escamas. *Se debe tener especial cuidado en su manejo debiendo usarse protección de ojos (Apéndice 4).* En caso de contacto con la piel debe mojarse con abundante agua.

Tanto en la ceniza de soda como en la cal hidratada la presentación es en estado sólido.

La preparación de las soluciones o suspensiones dependiendo del producto se harán siguiendo el mismo criterio que para el sulfato de aluminio.

OTROS PRODUCTOS

SULFATO DE ALUMINIO ACIDO

La remoción de color se realiza normalmente a pH bajos, para lograr este descenso puede ser necesaria la adición de concentraciones muy elevadas de coagulante. En algunos casos resulta económico aumentar la acidez del coagulante adicionándole ácido clorhídrico o sulfúrico con la consecuente disminución de dosis. En caso de ser necesario recurrir a la adición de ácido a la solución de sulfato de aluminio, las cantidades necesarias deberán establecerse por un técnico.

 La aplicación de este producto debe ser indicada y supervisada por un técnico.

PERMANGANATO DE POTASIO

Otro producto usado tanto en la remoción del color como así también en sabor y olor es el permanganato de potasio. Por su poder oxidante reacciona con la materia orgánica. Es adicionado en el agua bruta a concentraciones muy bajas ya que en poco exceso provoca coloración al agua.

CARBON ACTIVADO

La mayor parte de las sustancias orgánicas que causan sabor y olor son adsorbidas por el carbón activado. La presentación del producto puede ser en polvo o granulado. La presentación en polvo es la más usada por OSE.

 La aplicación de este producto debe ser indicada y supervisada por un técnico.

Para ser aplicada es necesario preparar una suspensión que se dosifica generalmente por medio de una bomba dosificadora en el agua bruta o en el agua coagulada. El carbón activado con el material adsorbido es removido en el proceso de sedimentación. Las dosis a aplicar son variables en función del causante del sabor (afinidad para ser adsorbido por el carbón activado) y la concentración del mismo.

Para determinar la dosis es necesario realizar ensayos de jarras acompañados por filtración y cloración.

Las suspensiones se preparan a una concentración variable comprendidas en general entre el 10 y 50 g/l.

La agitación de la suspensión no se debe interrumpir ya que el carbón activado decantaría en el tanque de preparación.

SULFATO DE COBRE

 La decisión de su aplicación y su dosis debe ser tomada por un técnico.

En determinados momentos del año se pueden producir crecimientos de algas que pueden afectar el funcionamiento de las plantas (taponamientos de filtros, producción de sabor y olor etc.).

El sulfato de cobre es uno de los productos usados para el control de algas por sus propiedades tóxicas. Es un sólido granulado de coloración azul, para aplicarlo se lo disuelve en agua y en planta se dosifica en el agua bruta. Es imprescindible antes de aplicarlo el caracterizar el alga productora del problema ya que en algunos casos la aplicación de sulfato de cobre no es beneficiosa y puede ser altamente perjudicial.

DESINFECTANTES

HIPOCLORITO DE SODIO o CLORO

El hipoclorito de sodio tiene propiedades oxidantes, ellas sirven no solo para desinfectar sino que también para controlar el desarrollo en planta de determinados organismos, y para remover sabores y olores. Su aplicación para estos otros fines debe ser definida por un técnico ya que puede no solo no resolverlos sino agravarlos.

La cloración con fines de desinfección, debe realizarse en el ingreso al depósito de agua filtrada, con la dosis indicada por los técnicos responsables, a los efectos de mantener a la salida una concentración

de cloro residual libre preestablecida, que nunca debe ser menor de 0,5 ppm.

La decisión sobre la aplicación de estos productos, debe ser realizada por el supervisor o por un técnico.

POLIELECTROLITOS

Los polielectrolitos son polímeros sintéticos de alto peso molecular y son usados para mejorar la calidad del agua de salida de las plantas de tratamiento. En general se usan cuando se desea aumentar la capacidad de producción de una planta o, cuando por las características del agua se produce un pasaje elevado de flóculos en el agua decantada con la consecuente disminución de la carrera de filtración.

Generalmente se presentan en polvo.

Existen básicamente tres tipos de polielectrolitos:

- ◆ Catiónicos.
- ◆ Aniónicos.
- ◆ No iónicos

Para realizar la elección del polielectrolito y la dosis a usar es necesario realizar Prueba de Jarras cuidando no elegir dosis por encima de las admitidas por los organismos certificadores de producto.

Preparación de soluciones:

La solución a aplicar se prepara en concentraciones que generalmente son menores a 0.25 %.

1. Agregar agua al tanque de preparación hasta $\frac{3}{4}$ de su capacidad.
2. Encender el agitador comprobando que no gira a mas de 300 r.p.m.
3. Agregar lentamente el polielectrolito para no formar grumos en el lugar de máxima agitación y agregar agua hasta el volumen deseado de solución.
4. Agitar hasta que se logre homogeneizar.

MATERIAL DE LABORATORIO

Dentro de los materiales y equipamientos de laboratorio utilizados para las determinaciones que deberán efectuarse en la planta de tratamiento se encuentran los materiales de vidrio, soportes, escurridores y equipos de laboratorio

MATERIAL DE VIDRIO



Vasos de Bohemia:

Son de vidrio, generalmente resistente a la temperatura (PYREX), pueden poseer una escala aunque su finalidad no es ser un material de medida, se usan para contener líquidos.

Los tamaños más comunes son: 50ml, 100ml, 250ml, 500ml y 1000ml.

Erlenmeyer:

Son recipientes de forma cónica para facilitar la agitación en los procesos de titulación. Generalmente son de vidrio resistente al calor (PYREX), pueden poseer una escala sin que sean materiales para medir, se usan para contener líquidos en procesos de calentamiento y titulaciones.

Los tamaños más comunes son: 100ml, 250ml y 500ml.

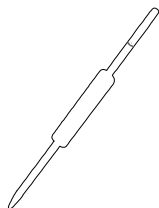


Pipetas

Pipetas aforadas:

Son tubos cilíndricos con un ensanchamiento central, poseen una marca llamada aforo, que indica hasta donde debe llenarse para descargar el volumen especificado, generalmente son de vidrio. Se utilizan para transferir un volumen exacto de líquido.

Los tamaños más comunes son: 1ml, 2ml, 5ml, 10ml, 20ml, 25ml, 50ml y 100ml.



Pipetas graduadas:

Son cilindros de vidrio que poseen una escala en toda su longitud. Se usan para transferir volúmenes variables de líquidos de acuerdo a la escala. Los tamaños más comunes son de 2,5,10,25ml cada 0,1ml.



**Probetas:**

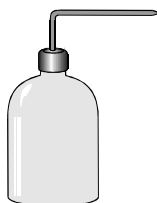
Son recipientes cilíndricos con una escala graduada cada 1ml. Se usan para transferir líquidos. Los tamaños más comunes son 50ml, 100ml, 250ml, 500ml y 1000ml.

Buretas:

Son tubos cilíndricos graduados con divisiones cada 0,1ml. con un grifo que permite transferir volúmenes precisos de líquido, concretamente para realizar titulaciones, hay también automáticas, que requieren de un reservorio para el reactivo y no requieren soporte para buretas. Los tamaños más comunes son de: 10ml, 25ml y 50ml.

**Pisetas:**

Son frascos de plástico, que se usan para almacenar agua destilada para realizar lavados, para preparar soluciones, etc. El agua se expulsa de la piseta apretando su cuerpo.

**Matraces aforados:**

Son frascos en forma de pera, con cuellos esbeltos y angostos. Su capacidad es variable y el nivel al cual se alcanza su capacidad se indica por un anillo grabado alrededor del cuello y se denomina aforo. Se usan para la preparación y dilución de soluciones patrón o valoradas

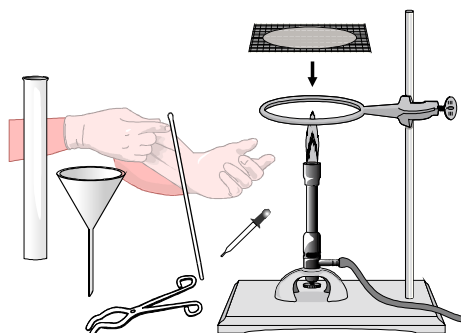
**Otros Materiales**

Embudos, cuentagotas, varillas de vidrio, tubos Nessler de 50ml y de 100ml.

Soportes apropiados para montar los diversos aparatos como buretas, pipetas, etc.

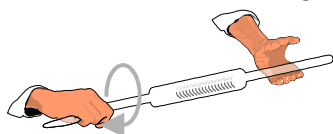
Trípode y tela de amianto, para calentar balones y erlenmeyer.

Pinzas, guantes para sostener material de vidrio caliente.



IMPORTANTE

Es muy importante, para emitir resultados confiables que el material de vidrio u otro utilizado esté sano, este material es muy frágil y caro, debe protegerse de los golpes especialmente las puntas de las pipetas, y mantenerlo perfectamente limpio.

Limpieza de material de vidrio

Una vez utilizado se debe enjuagar con agua de la canilla haciéndola correr con fuerza, y luego con agua destilada o desionizada.

Periódicamente o en casos de limpieza difícil se debe lavar con detergente y cepillo, luego enjuagar con abundantemente agua potable y finalmente con agua destilada.

Luego de limpio se debe dejar secar en un escurridor adecuado.

Al escurrir un material de vidrio perfectamente limpio la película de líquido que se forma en sus paredes no debe romperse.

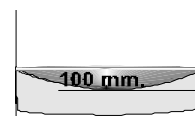
MEDICION

Para medir un volumen determinado de líquido se procede de la siguiente manera:

Si se requiere una medida aproximada se puede usar una probeta.

Si se requiere una medida con mayor exactitud se puede utilizar una pipeta aforada.

1. Se elige el medidor adecuado a la precisión y cantidad requerida.
2. Para medir se vierte el líquido de modo que la marca del volumen deseado quede al nivel de los ojos, se agrega el líquido hasta que la parte inferior del menisco quede tangente a la marca del volumen deseado

**Para realizar la medida con mayor exactitud:**

1. Se debe sumergir la punta de la pipeta en el líquido.
2. Aspirar de la parte superior con una pera de goma, cargando la pipeta hasta que el líquido sobrepase el aforo.
3. Sacar la pera y colocar el dedo índice en el extremo superior, para impedir que el líquido caiga.
4. Retirar la pipeta del líquido, secar su parte inferior externa con un papel absorbente.
5. Sostener la pipeta de modo que el aforo quede al nivel de los ojos y aflojar el dedo índice hasta que la parte inferior del menisco quede tangente al aforo (enrasar).

Titulación (o valoración):

Esta operación se usa en técnicas de determinación volumétrica que consiste básicamente en la adición de un agente titulante, poco a poco, sobre una muestra, con agitación constante.

La técnica se realiza con el auxilio de una bureta y el punto final de la adición de titulante se revela mediante el cambio de color de un indicador.

Para preparar una bureta:

1. Fijar la bureta a un soporte adecuado, girar la llave para ver si la misma gira normalmente y a su vez se mantiene firme; de lo contrario aplicar una fina capa de vaselina.
2. Retirar la bureta del soporte y manteniéndola levemente inclinada agregar solución titulante haciéndola escurrir por sus paredes internas.
3. Abrir la llave y descartar el líquido, repetir ésta operación una vez más.
4. Colocar la bureta en el soporte,
5. Llenarla con solución titulante, enrasarla y realizar la titulación.
6. Leer el gasto de titulante.

Estas operaciones deben realizarse cada vez que se va a usar la bureta.

EQUIPOS UTILIZADOS

Comparador

Se utiliza para hacer comparaciones visuales de color. Nos permite realizar la determinaciones de varios parámetros como por ejemplo: pH, cloro residual y color.

Proceso de medición

En el tubo de la izquierda se coloca agua destilada o en el caso que se indique la muestra sin tratar.

Se coloca la tapa eliminando las burbujas de aire.

Se seca el tubo por fuera

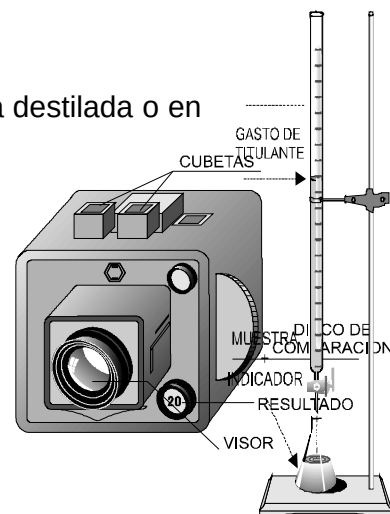
Se coloca en el comparador.

En el tubo de la derecha colocar la muestra con o sin reactivo según la determinación que se vaya a efectuar.

Colocar le disco adecuado

Realizar la comparación girando el disco hasta igualar los campos.

El resultado de la determinación aparece en la ventanita.



Si el color observado es mayor o igual que la mayor lectura del disco hacer una dilución adecuada, realizar la comparación y multiplicar por el factor de dilución para obtener el resultado final.

Dilución

1. Colocar un volumen de la muestra medido con exactitud (volumen A) en una probeta.
 2. Agregar agua destilada o desionizada hasta que la probeta nos indique un volumen B.
 3. Agitar bien.
 4. Proceder a realizar la comparación.
- El resultado final se obtiene:

$$R = R_o \times f_D$$

R Valor real de la muestra

R_o Valor medido en el instrumento

f_D Factor de dilución

$$f_D = \frac{V_B}{V_A}$$

V_A Volumen de la muestra

V_B Volumen final de la dilución

Ejemplo 5.1:

Se desea determinar el color de una agua bruta que tiene un valor elevado, para eso hacemos una dilución.

En una probeta colocamos 50 ml (V_A) de agua bruta y agregamos agua destilada (sin color) hasta alcanzar un volumen 150 ml (V_B).

Al determinar el color con el comparador de discos de color de la dilución obtenemos un valor de 20 Un-Pt-Co.

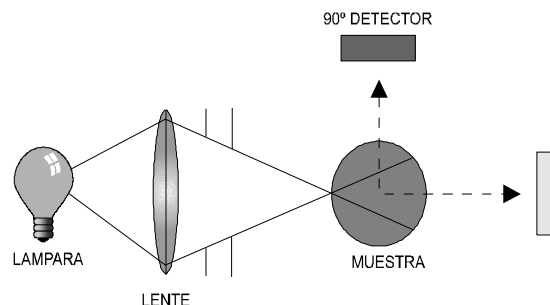
¿Cuánto vale el color del agua bruta?

Cálculo del factor de dilución:

$$f_D = (150 \text{ ml}) : (50 \text{ ml}) = 3$$

Cálculo del color del agua bruta:

$$20 \text{ Un-Pt-Co} \times 3 = 60 \text{ Un-Pt-Co}$$



Turbidímetro

Su funcionamiento se basa en la medida de la luz dispersada por la muestra a 90° de la dirección del rayo de luz incidente.

La medición se realiza haciendo pasar un rayo de luz a través de la muestra, las partículas finas que constituyen la turbiedad dispersan la luz, la fracción de la luz dispersada en ángulo recto llega a un sensor y se obtiene una señal medible.

La intensidad de la luz que llega al sensor es proporcional a la turbiedad.

Los turbidímetros se calibran con suspensiones de formazina.



pHímetro:

Los componentes principales de un medidor de pH consisten en un electrodo censer, un electrodo de referencia, conectados a un voltímetro capaz de registrar la diferencia de potencial generada por los electrodos. El electrodo censer generalmente es de vidrio especial cuyo voltaje es sensible a los iones hidrógeno (H^+) de la muestra. El electrodo de referencia es de Calomel y proporciona un voltaje estable y constante (+0.246mV) contra el cual se compara el voltaje del electrodo de vidrio selectivo al ion H^+ . Ambos electrodos se ofrecen combinados en un sistema único para facilitar la manipulación y ofrecer mayor resistencia.



Los pHímetros deben calibrarse con soluciones buffer preferentemente de pH cercanos a los de las muestras de agua.

Estos son instrumentos muy delicados y conviene seguir las instrucciones del fabricante con relación al cuidado y operación del instrumento.

DETERMINACION DE PARAMETROS

La Norma de OSE permite hasta 15 *Un-Pt-Co* de color verdadero en el agua tratada y debe tenerse en cuenta que el consumidor puede llegar a ver color en un vaso de agua con valores por encima de 10 *Un-Pt-Co* de color verdadero.

MEDIDA DEL COLOR

Cuando el agua además de color, presenta turbiedad, debe hacerse la distinción entre color verdadero y color aparente.

Color aparente: Es el color medido en agua sin realizarle ningún pretratamiento para el análisis

Color verdadero: Es el color medido en agua luego de la remoción de la turbiedad. La remoción de la turbiedad puede hacerse por filtración o por centrifugación, no existe un método ideal para remover la turbiedad sin quitar algo de color.

El color aparente es mayor que el color verdadero, pero son semejantes en agua tratada de baja turbiedad, aproximadamente de menos de 2 *NTU*.-

El color de una muestra se mide comparando con una escala o con discos de color. La comparación visual es adecuada para la mayoría de las aguas naturales cuyo color se debe a sustancias que se encuentran naturalmente en el agua. En el caso de muestras de agua muy contaminada se recurre a otro método, el método instrumental, ya que generalmente posee tonos distintos a los de la escala de color usual de platino cobalto.

El color se mide en unidades de color; en la escala de platino-cobalto, una unidad de color corresponde a la cantidad de color que posee una solución de 1 mg de platino por litro bajo forma de ion cloroplatinato

DETERMINACION ANALITICA:

La medida del color puede hacerse en el comparador utilizando discos de color permanente. El disco de color tiene vidrios coloreados realizados sobre la base de la misma escala de platino-cobalto. En éste caso se compara la muestra con el disco de color utilizando un tubo con agua incolora como referencia.



En caso de tratarse de muestras muy turbias filtrar o centrifugar previamente.

Utilizando comparador:

1. Llenar con agua incolora un tubo del comparador hasta la marca que posee y colocarlo en el compartimento izquierdo del comparador.
2. En el otro tubo, poner la muestra tal cual o centrifugada, hasta llegar a la marca y colocarlo en el compartimento de la derecha del comparador.
3. Haciendo girar el disco buscar igualdad de color en ambos campos.

El color de la muestra es el que se indica en la ventanita lateral del comparador.

Si la muestra posee un color mayor o igual al mayor valor de la escala, hacer una dilución con agua incolora, hacer la comparación y multiplicar por el factor de dilución.

Expresión de los resultados:

El color se expresa en unidades de Platino Cobalto, (Un-Pt-Co).

Muestreo y conservación:

Se debe extraer la muestra en envase de vidrio o plástico bien limpio. Se recomienda hacer la determinación lo antes posible.

MEDIDA DE LA TURBIEDAD

Es imposible relacionar la turbiedad con el peso de material en suspensión. Cuanto más subdividida una cantidad dada de una sustancia mayor será la turbiedad que produce.

Los métodos actuales de tratamiento obtienen turbiedades bajas y para poder medirlas se utilizan aparatos llamados turbidímetros nefelométricos, estos aparatos poseen una fuente de luz, un compartimento para colocar la celda que contiene la muestra y una célula fotoeléctrica que mide la intensidad de luz dispersada por la muestra a 90° de la luz incidente.

La turbiedad se mide entonces en Unidades Nefelométricas de Turbiedad (NTU)

Las escalas de éstos instrumentos se calibran con suspensiones standard de referencia de turbiedad, que son de formazina. La turbiedad de una suspensión de concentración especificada de formazina se define como de 4000NTU.

DETERMINACION ANALITICA:

El procedimiento se describe específicamente para el Turbidímetro Hach 2100P.

Primeramente se debe comprobar si el turbidímetro se halla calibrado (proceso que se describe más adelante de éste capítulo). Para calibrarlo

Las Normas de Calidad permiten hasta 1 NTU en el agua filtrada y clorada (salida de planta), pero, en general ésta debería tender a ser menor a 0,5 NTU.

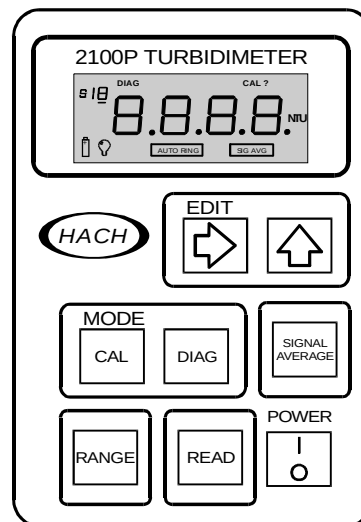
se siguen las instrucciones del fabricante y se utilizan los estándares de formazina.

Para calibrar el turbidímetro, puede enviarlo al Laboratorio Central.

Las celdas deben mantenerse bien limpias y lubricadas con aceite de silicona.

Para realizar la medición:

1. Prender el turbidímetro presionando la tecla "POWER" 
2. Agitar cuidadosamente la muestra sin formar demasiadas burbujas.
3. Esperar que desaparezcan las burbujas de aire.
4. Colocar la muestra en la celda del turbidímetro hasta la marca de nivel, secar la celda con un material que no desprenda pelusa ni raye la celda.
5. Colocar la celda en el compartimento de la celda del turbidímetro con la marca hacia adelante y cerrar la tapa.
6. Elegir el rango oprimiendo la tecla "RANGE".
7. Oprimir la tecla "READ", y anotar la lectura cuando se apague la lamparita del turbidímetro que aparezca en el display.



Las celdas se lavan con detergente y se enjuaga con abundante agua destilada; para secarlas o limpiarlas no se debe usar materiales abrasivos que puedan rayarlas.

El Turbidímetro debe ser calibrado:

- Cuando medimos el standard de Gelex y éste difiere del valor asignado en una cantidad mayor del 5% de dicho valor.
- Cuando en el display aparece CAL.
- Cuando ha transcurrido un período de tres meses de su última calibración.
- Cuando se cambia la lámpara

Control de la calibración

Los turbidímetros Hach 2100P se calibran generalmente cada tres meses y vienen calibrados de fábrica.

Planilla de calibración

Cuando recibimos un turbidímetro nuevo, es conveniente confeccionar una planilla para controlar la calibración del instrumento. Esta debe contener los siguientes datos:

- ◆ Fecha de calibración.
- ◆ Los valores asignados de los Gelex

- ♦ Los valores máximos y mínimos aceptables, calculados para cada Gelex. Estos permitirán controlar si el turbidímetro debe ser calibrado o no.
- ♦ Las fechas en que se realizan los controles.
- ♦ Los valores de los Gelex obtenidos en cada control

Asignación de valores a los Gelex

Este proceso debe realizarse cuando recibimos un Turbidímetro nuevo o cada vez que se calibra.

Para asignar valores:

1. Se debe medir cada Gelex por lo menos 5 veces cada uno.
2. Para cada Gelex se debe hacer el promedio de los cinco valores obtenidos y anotarlo en la planilla como valor asignado.

Cálculo de valores máximos y mínimos aceptables para cada Gel

Sea **V** el valor asignado para un Gelex

Valor máximo aceptable $\rightarrow V_{MAX A} = V \times 1,05$

Valor mínimo aceptable $\rightarrow V_{mín A} = V \times 0,95$

Las interferencias que puede tener el método son las siguientes:

- ♦ Sustancias que sedimentan muy rápidamente.
- ♦ Celdas sucias.
- ♦ Vibraciones que provoquen disturbios en la superficie.
- ♦ Color verdadero.
- ♦ Burbujas de aire

Expresión de los resultados:

La turbiedad se expresa en Unidades Nefelométricas de Turbiedad: NTU.

Muestreo y almacenamiento:

Se debe recoger la muestra en envases de plástico o vidrio bien limpio y antes de sacar la muestra se debe enjuagada tres veces con la misma agua. Realizar la determinación lo más pronto posible, de preferencia realizar en el lugar de extracción.

DETERMINACION DE OLOR

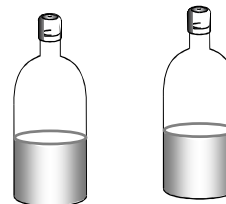
La intensidad del olor se mide generalmente en términos de su Número Umbral de Olor. Para obtener datos confiables, la evaluación del olor como parte de la calidad del agua deberá realizarse por un panel compuesto por varias personas.

Es importante especificar la temperatura a la cual fue determinado el olor, pues la intensidad del olor se relaciona con la presión de vapor de cualquier sustancia que lo origine y, además, tendrá una relación directa

Para ello se han desarrollado test de olor, que permiten una descripción cualitativa y una medida aproximada de la intensidad del olor. Estos tests sensoriales son útiles para chequear la calidad del agua bruta y para el control del olor durante el proceso de tratamiento.

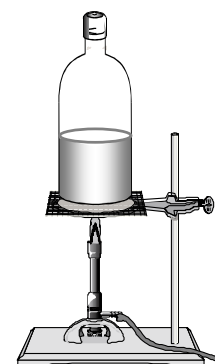
DETERMINACION ANALITICA:

Para realizar el ensayo deberá formarse un panel de idealmente más de 10 personas, que no fumen, no posean perfumes, que tengan buena sensibilidad a los olores y se eduquen para ello haciéndolo habitualmente.



Procedimiento:

1. Llenar hasta la mitad con agua inodora, un frasco o matraz con tapón, éste es el testigo.
2. Hacer lo mismo con el agua problema.
3. Agitar vigorosamente el matraz con agua inodora, retirar el tapón y oler.
4. Hacer lo mismo con el matraz que contiene el agua problema.



En el lugar en donde se realiza el test de olor no deben haber perfumes ni se debe fumar tampoco existirán olores ambientales.

Cuando existe olor objetable, el mismo puede ser semejante a:

- **aromática** (similar a alcanfor, lavanda, limón)
- **balsámico** (similar a violeta, geranio, vainilla)
- **químico** (similar a cloro, hidrocarburo, medicinal, sulfhídrico)
- **desagradable** (séptico, pescado)
- **terroso** (similar a tierra húmeda, pantanoso, turba)
- **a pasto** (similar a pasto recién cortado)
- **a rancio** (similar a granos rancios)
- **a vegetales** (similar al olor de las legumbres)

Es importante hacer la determinación del olor de las muestras en frío y en caliente. Para ello se calienta el frasco o matraces a 45°C, agitar vigorosamente, retirar el tapón y tomar el olor. Utilizar termómetro. Debe tenerse en cuenta que cuanto más se calienta la muestra se puede llegar a sentir mayor cantidad de olores, que usualmente al consumidor no le afectan.

Todo el material destinado a análisis de olor debe estar desodorizado. Si no lo está, se deberá lavar bien, calentar en horno a 180°C durante una hora y dejarlo enfriar.

Muestreo y almacenamiento:

Recoger la muestra en envase de vidrio, sin cámara de aire. Realizar el análisis dentro de las 6 horas siguientes. De lo contrario refrigerar y analizar a la brevedad.

MEDIDA DE pH

DETERMINACION ANALITICA

El pH puede ser determinado por método colorimétrico o potenciométrico (uso de pHímetro).

Método colorimétrico

Se basa en la reacción de un indicador, que es una sustancia orgánica que tiene la propiedad de sufrir alteraciones de color dentro de un rango de pH. Estas sustancias permiten la determinación aproximada del pH.

Al agregar unas gotas del indicador a una muestra de agua, le da a la misma una cierta coloración que, comparada con una escala o con un disco de color permite determinar el pH.

Los indicadores usados son:

Rojo Cresol para medir pH entre 7,4 y 8,6

Azul de Bromotimol para medir pH entre 6,0 y 7,6.

Este método no puede utilizarse con muestras muy turbias o que presentan mucho color. Si la muestra contiene mucho cloro se descolora el indicador.

Método potenciométrico

Se basa en la medida de una diferencia de potencial entre electrodos que se amplifica y se mide en un voltímetro. Para esto se utiliza un pHímetro con electrodo de vidrio. Se debe calibrar con soluciones de valor de pH conocido exactamente que se denominan soluciones buffer o tampón. Generalmente se utilizan los buffer de pH = 4, pH = 7 y pH = 10.

Es un método mucho más preciso, se elimina la interferencia del color y la turbiedad, la subjetividad del analista y es independiente de la estabilidad de las soluciones del indicador.

MÉTODO COLORIMÉTRICO:

Materiales y reactivos:

- ❖ Solución de **Rojo Cresol**.
- ❖ Solución de **Azul de Bromotimol**,
- ❖ Comparador con discos coloreados o escalas standard de ambos indicadores (La proporciona el Lab. Central).



 Se requiere calibrar el instrumento.

- ❖ Tubos de vidrio standard exactamente de las mismas dimensiones y características que los usados para preparar la escala.
- ❖ Pipeta graduada de 10ml.
- ❖ 2 pipetas graduadas de 1ml.

Procedimiento con escala:

Las escalas de pH duran aproximadamente 6 meses, luego deben recambiarse solicitándolo al Laboratorio Central.

1. Colocar 10ml, medidos con la pipeta graduada, del agua a analizar en un tubo de ensayo.
2. Agregar 0,5ml, medidos con la pipeta graduada, del indicador correspondiente.
3. Agitar.
4. El color se compara con los tubos de la escala.

El valor de pH será el correspondiente al tubo de la escala cuyo color se acerque más al de la muestra.

Procedimiento con discos coloreados:



1. Colocar en el tubo de la izquierda un tubo con el agua a analizar.
2. En el tubo de la derecha colocar un tubo con 10ml de la muestra y 0,5ml del indicador.
3. Girar el disco hasta encontrar el color más próximo al de la muestra.
4. Anotar el valor de pH que indica el disco.

MÉTODO POTENCIOMÉTRICO:

Diariamente el equipo pHímetro debe ser calibrado,

Diariamente el equipo pHímetro debe ser calibrado, usando preferentemente la sonda de temperatura (ATC).

Cada equipo debe tener su manual el cual indica el mantenimiento y el modo de operación del mismo.

En el caso del pHímetro HANNA HI 8424:

Nunca dejar el electrodo seco ni en agua destilada. Mantenerlo en la solución de almacenamiento o indicado por el fabricante.

Materiales y reactivos:

- ❖ pHímetro,
- ❖ vasos de bohemia.
- ❖ soluciones buffer, para calibrar el pHímetro,
- ❖ agua desionizada

Procedimiento de calibración:

1. Prendemos el pHímetro con la tecla **ON**.
2. Ponemos en un vaso el buffer de pH 7.0
3. Enjuagamos el electrodo y la sonda de temperatura en agua desionizada, secamos y lo colocamos en el vaso con buffer agitando.
4. Presionamos la tecla **CAL**.



5. Esperáramos que en la pantalla deje de titilar el símbolo **pH**.
6. Cuando deje de titilar presionamos la tecla **CON**.
Se enciende en la pantalla el símbolo **E5**.
7. Enjuagamos el electrodo y la sonda de temperatura con agua desionizada y secamos.
8. Ponemos en un vaso el buffer de pH 4.0 o el de pH 10,0 según nuestras necesidades
9. Colocamos el electrodo con la sonda de temperatura en el vaso con el buffer
10. Esperamos nuevamente que deje de titilar en la pantalla el símbolo pH
11. Apretamos la tecla CON.
12. Chequeamos si quedó correctamente calibrado midiendo el pH de los mismos buffer utilizados para calibrarlo.

Muestreo y almacenamiento:

Extraer la muestra en envase de polietileno o vidrio.

Preferentemente realizar la determinación en el lugar de extracción. De lo contrario mantener a baja temperatura y analizar dentro de las 6 horas.

MEDIDA DE LA ALCALINIDAD

DETERMINACION ANALITICA

La alcalinidad está compuesta por varios compuestos químicos, como pueden ser carbonatos, bicarbonatos y/o hidróxidos. El tipo de alcalinidad que se determina depende del pH del punto final.

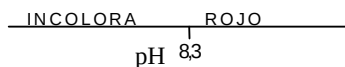
Habitualmente se utilizan colorantes indicadores:

- ♦ Para pH de la muestra mayores que 8.3, se utiliza comúnmente **Fenolftaleína**, con la cual obtenemos la alcalinidad a la fenolftaleína que la representamos con la letra **F**
- ♦ Se utiliza **Verde de Bromocresol**, para obtener la alcalinidad total que la representamos con la letra **T**

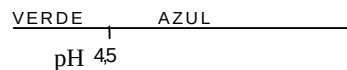
La muestra se valora con ácido sulfúrico 0,02N. Conforme avanza la valoración ocurre neutralización de los iones que aportan alcalinidad y consecuentemente cambia el pH. Los indicadores mencionados presentan cambios de color pronunciado a los pH 8,3 y 4,5 respectivamente.

Los cambios de color son los siguientes:

Fenolftaleína



Verde de Bromocresol



La determinación del pH debe realizarse enseguida de abrir el frasco que contiene la muestra.

Esta determinación debe realizarse inmediatamente después de abrir la muestra.

Materiales y reactivos:

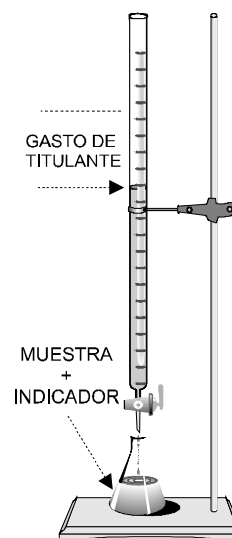
- ❖ Solución standard de ácido sulfúrico 0,02N.
- ❖ Solución indicadora de **Fenolftaleína**.
- ❖ Solución indicadora de **Verde de Bromocresol**.
- ❖ Solución de **Hiposulfito de Sodio** aproximadamente 3 %.
- ❖ Bureta de 25ml.
- ❖ Probeta de 100ml.
- ❖ 2 frascos gotero para contener los indicadores.
- ❖ Erlenmeyer de 250ml.

Si el pH es menor que 8,3, realizamos solamente la determinación de la alcalinidad total con Verde de Bromocresol.

Observar los colores colocando el erlenmeyer sobre una superficie blanca.

Procedimiento (si el pH es mayor que 8,3)

1. En el matraz erlenmeyer colocamos 100 ml de la muestra, medida con la probeta.
2. Si la muestra contiene cloro agregar 1 gota de solución de Hiposulfito de sodio para destruirlo.
3. Agregar 3 o 4 gotas de solución indicadora de Fenolftaleína.
4. Si se produce una coloración roja valoramos con ácido sulfúrico 0,02N hasta la casi desaparición del color rosado. Anotamos los ml de ácido sulfúrico gastados (f = gasto de ácido sulfúrico 0.02N en ml con fenolftaleína)
5. Sobre la misma toma agregamos 2 o 3 gotas de solución indicadora de Verde de Bromocresol, la solución tomará color azul.
6. Valorar con ácido sulfúrico 0,02N hasta viraje al color verde azulado. Anotamos los ml de ácido sulfúrico gastados. (t =gasto total de ácido sulfúrico 0.02N en ml)

**Cálculos y expresión de los resultados:**

La alcalinidad se expresa en mg/l de carbonato de calcio (CaCO_3).

La determinación no tiene por qué realizarse con tomas de 100 ml de la muestra como lo indica el procedimiento, también se puede determinar con muestras más pequeñas o más grandes de acuerdo a las alcalinidades a medir; si las alcalinidades a medir son muy grandes es conveniente realizar la determinación con tomas de 50 ml y si la alcalinidad es muy pequeña es conveniente realizar la determinación con tomas de 200 ml. De la cantidad de muestra va a depender el gasto de ácido sulfúrico 0.02N y por lo tanto la expresión de resultados va a depender de la toma de muestra.

De acuerdo a la toma de la muestra los resultados se calculan:

para 50 ml	Gasto de Acido sulfúrico 0.02N en ml	x	20
para 100 ml	Gasto de Acido sulfúrico 0.02N en ml	x	10
para 200 ml	Gasto de Acido sulfúrico 0.02N en ml	x	5

Tabla 6.1 siendo 20, 10 y 5 factores de conversión para que el resultado sea en ppm (mg/l) de carbonato de calcio (CaCO_3).

Ejemplo 6.1

Si para realizar la determinación de alcalinidad usamos una muestra de 200 ml y el gasto de ácido sulfúrico 0.02N es de 12 ml. La alcalinidad en mg/l de CaCO_3 vale:

$$12 \times 5 = 60 \rightarrow 60 \text{ mg/l de } \text{CaCO}_3 \text{ de alcalinidad.}$$

Si queremos calcular la alcalinidad a la fenolftaleína (**F**) multiplicamos el gasto de ácido sulfúrico 0.02N a la fenolftaleína (**f**) por el factor correspondiente a la toma de la muestra y si queremos determinar la alcalinidad total (**T**) multiplicamos por el mismo factor pero con el gasto total (**t**).

Interpretación de resultados

Según los resultados obtenidos, podemos distinguir los distintos tipos de compuestos químicos que forman la alcalinidad. Los carbonatos están presentes en la muestra si la alcalinidad a la fenolftaleína (F) es mayor que 1 (uno) y menor a la alcalinidad total (T). Los hidróxidos están presentes cuando la alcalinidad a la fenolftaleína (F) es superior a la mitad de la alcalinidad total ($\frac{1}{2}$ T). Los bicarbonatos están presentes si la alcalinidad a la fenolftaleína (F) es inferior a la mitad de la alcalinidad total ($\frac{1}{2}$ T).

Si el resultado obtenido es:	mg/l de Hidróxidos	mg/l de Carbonatos	mg/l de Bicarbonatos
$F = 0$	0	0	T
$F < \frac{1}{2} T$	0	2 F	$T - 2 F$
$F = \frac{1}{2} T$	0	2 F	0
$F > \frac{1}{2} T$	$2 F - T$	$2 (T - F)$	0
$F = T$	T	0	0

Tabla 6.2 “F” representa la alcalinidad a la fenolftaleína (en mg/l) y “T” la alcalinidad total (en mg/l).

Muestreo y conservación:

Recoger la muestra en envase de plástico o vidrio, llenarlo completamente y cerrarlo muy bien. Mantener la muestra refrigerada y no más de 24 horas si no se analiza inmediatamente. Realizar el análisis inmediatamente de abrir el envase, evitar agitación y prolongada exposición al aire.

MEDIDA DE LA MATERIA ORGÁNICA

DETERMINACION ANALITICA:

La naturaleza de las materias orgánicas en el agua es muy variable y a menudo desconocida, es pues imposible dosificarlas exactamente, pero es posible determinar indirectamente su importancia, evaluando la

proporción de oxígeno que ellas utilizan del permanganato de potasio en medio ácido, para su oxidación.

El principio de la dosificación es el siguiente:

1. Un volumen conocido de agua se hierve con un volumen conocido de solución valorada de permanganato de potasio, en medio ácido.
2. Las materias orgánicas se oxidan con el oxígeno cedido por el permanganato, el que a su vez en parte se reduce.
3. Se determina la cantidad restante de permanganato sin reaccionar, agregando un exceso de solución valorada de sulfato ferroso, una porción de la cual (equivalente al permanganato sin reaccionar) se oxida a sulfato férrico y el resto se dosifica con solución valorada de permanganato. Ello permite calcular la cantidad de permanganato que se redujo y por consecuencia la cantidad de oxígeno cedido.

Se utiliza una técnica no standard, la técnica de Girard.

Materiales y reactivos:

- ❖ *balones de fondo plano de 500ml*
- ❖ *2 pipetas aforadas de 20ml*
- ❖ *probeta de 200ml*
- ❖ *bureta de 25ml*
- ❖ *1 pipeta graduada de 10ml*
- ❖ *plancha o mechero y tela de amianto*
- ❖ *solución valorada de permanganato de potasio N/80*
- ❖ *solución valorada de sulfato ferroso N/80*
- ❖ *ácido sulfúrico 1/5*

Procedimiento:

1. Agitar bien la muestra
2. Medir 200ml de muestra con la probeta de 200ml
3. Agregar 10ml de ácido sulfúrico 1/5 medidos con la pipeta graduada de 10ml
4. Agregar 20ml de permanganato de potasio N/80 con la pipeta aforada de 20ml
5. Calentar y dejar hervir durante 10 minutos
6. Enfriar
7. Agregar 20ml de sulfato ferroso N/80 con la pipeta aforada de 20ml, la solución debe quedar completamente incolora
8. Valorar con permanganato de potasio N/80, utilizando la bureta, hasta el primer tinte rosado en toda la solución, anotar los ml gastados = GASTO
9. Realizar paralelamente un blanco utilizando en lugar de la muestra 200ml de agua destilada o desionizada, anotar los ml gastados = BLANCO

Cálculos y expresión de los resultados:

$$\text{Oxígeno consumido en mg/l} = \frac{\text{GASTO} - \text{BLANCO}}{2}$$

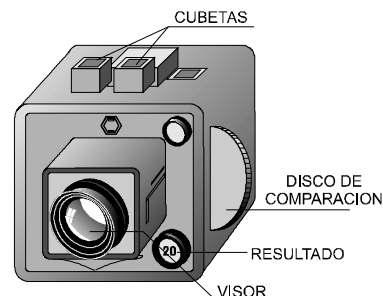
Muestreo y almacenamiento:

Extraer la muestra en un frasco de vidrio o plástico bien limpio, el cual debe llenarse completamente.

Realizar el análisis lo antes posible, en su defecto almacenar en heladera no más de 24 horas.

MEDIDA DEL CLORO RESIDUAL**DETERMINACION ANALITICA:**

Las determinaciones de cloro realizadas por O.S.E. son colorimétricas. Se basan en el desarrollo de color al poner en contacto un reactivo con la muestra que posee cloro. La intensidad del color es proporcional a la concentración de cloro.

**Método del DPD:****Materiales y reactivos:**

- ❖ - Comparador
- ❖ Discos de color permanente para determinación de cloro en el rango 0,0mg/l a 3,0ml/l
- ❖ Celdas.
- ❖ Reactivo: DPD (N,N-dietil-p-fenilendiamina). Existen diferentes presentaciones comerciales de éste reactivo: foils, pastillas.

**Procedimiento:**

1. Colocamos una porción de la muestra en una celda y la ubicamos en el compartimiento izquierdo del comparador.
2. Colocamos una pastilla, o el contenido de un foil de DPD para CLORO RESIDUAL LIBRE en la otra celda y agregamos 10ml o 5ml de la muestra **según las indicaciones del fabricante** del reactivo.
3. Agitamos la celda y esperamos un minuto
4. Realizamos la lectura del CLORO RESUDUAL LIBRE
5. A continuación agregamos a esta última celda una pastilla o el contenido de un foil de DPD para CLORO RESIDUAL TOTAL
6. Agitamos la celda y esperamos tres minutos
7. Se realiza la lectura del CLORO RESUDUAL TOTAL
(o según indique el fabricante del reactivo – Ver apéndice 6).

Notas: Si la concentración de cloro es de aproximadamente 6,0mg/l, puede ocurrir decoloración total del reactivo DPD, pero se sabe que hay cloro porque la muestra tiene olor.

Cuando el contenido del foil o la pastilla está oscura (reactivo vencido), descartarla.

DOSIFICACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS

Preparación de soluciones

Determinación de la cantidad de sulfato a agregar para preparar la solución de coagulante

La cantidad de sulfato de aluminio que debemos agregar al depósito de solución para obtener la concentración adecuada, se puede calcular usando la siguiente fórmula, que proviene de una sencilla regla de tres

$$\text{Kg} = \frac{C(\text{g/l}) \times V}{1000}$$

kg: Cantidad de sulfato de aluminio a agregar medido en kilogramos (kg)

C: Concentración de la solución medida en gramos/litro (g/l)

V: Volumen de solución que se desea preparar medida en litros (l)

Para soluciones diluidas, la fórmula anterior también puede expresarse como:

$$\text{Kg} = \frac{C(\%) \times V}{100}$$

kg: Cantidad de sulfato de aluminio a agregar medido en kilogramos (kg)

C: Concentración de la solución medida en porcentaje (%)

V: Volumen de solución que se desea preparar medida en litros (l)

Ejemplo 3.1:

¿Cuánto sulfato de aluminio es necesario agregar para preparar 1000 l de solución de sulfato de aluminio con una concentración de 20 g/l?

Debemos agregar 20 kg de sulfato de aluminio, y completar con agua hasta 1000 litros.

Verificación de la concentración obtenida

Una vez preparada la solución una forma aproximada de verificar su concentración es a través de la medición de su densidad. Cada densidad corresponde a una concentración de sulfato de aluminio.

Relación entre la densidad a 15°C y la concentración de solución de sulfato de aluminio puro al 15% de Al₂O₃ expresada en %.

DENSIDAD (g/l)	CONCENTRACIÓN (g/l)	CONCENTRACIÓN (%)
1007	13,1	1,30
1014	26,1	2,57
1021	39,2	3,84
1028	52,2	5,08
1036	65,3	6,30
1044	79,7	7,63
1051	94,0	8,94
1059	109,0	10,29
1067	124,0	11,62
1075	138,0	12,84
1083	153,0	14,13
1091	175,0	16,04
1099	190,0	17,29
1108	207,0	18,68
1116	225,0	20,16
1125	243,0	21,60
1134	260,0	22,93
1143	280,0	24,50
1152	295,0	25,61
1161	320,0	27,56
1170	340,0	29,06
1180	361,0	30,59
1190	382,0	32,10
1200	403,0	33,58
1210	425,0	35,12
1220	445,0	36,48
1230	467,0	37,97
1241	487,0	39,24

Tabla 3.2

Determinación del caudal de dosificación para obtener la dosis deseada

La aplicación de la cantidad necesaria de solución de sulfato de aluminio, se realiza generalmente mediante una bomba de velocidad regulable, llamada dosificadora. Las dosis se ajustan variando los comandos de velocidad o volumen de impulsos de la bomba. Muchas bombas dosificadoras carecen de este último comando.

La siguiente fórmula, se utiliza para determinar el caudal que debe tener la dosificadora para aplicar una dosis determinada.

$$q = \frac{D \times Q}{C}$$

q: Caudal de la bomba dosificadora (l/h)

D: Dosis (en partes por millón)

Q: Caudal de la planta (m³/h)

C: Concentración de la solución (g/l)

Ejemplo 3.2

¿Cuánto litros por hora de la solución obtenida en el ejemplo anterior es necesario aplicar para tener una dosis de 60 ppm (g/m^3) de sulfato de aluminio en una planta que trata $100 \text{ m}^3/\text{h}$ de agua?

Aplicando la fórmula:

$$q = (60 \text{ ppm} \times 100 \text{ m}^3/\text{h}) : (20 \text{ g/l}) = 300 \text{ l/h}$$

Es conveniente realizar periódicamente un aforo para cada uno de los puntos de regulación de la bomba dosificadora anotando en una planilla, para rápidamente poder ajustar el caudal necesario. (Ver el apéndice sobre “aforo de bomba dosificadora”)

Verificación de la dosis que se está aplicando**Método: del caudal de dosificadora**

De acuerdo a la definición de dosis y a partir de la fórmula establecida para el cálculo del caudal de la bomba dosificadora podemos calcular:

$$D(\text{ppm}) = \frac{q(\text{l/h}) \times C(\text{g/l})}{Q(\text{m}^3/\text{h})}$$

Ejemplo 3.3:

En una UPA200, el caudal de agua tratado es $12 \text{ m}^3/\text{h}$. Al hacer un aforo de la bomba dosificadora, se determinó que el caudal de la solución de concentración 20 g/l que se está aplicando es de 30 litros por hora. Verificar qué dosis se está aplicando.

Aplicando la fórmula, la dosis aplicada es:

$$D = 30 \text{ l} \times 20 \text{ g/l} : 12 \text{ m}^3/\text{h} = 50 \text{ ppm}$$

Método: de depresión de Alcalinidad

Teniendo en cuenta que el sulfato de aluminio reacciona con la alcalinidad provocando un descenso de la misma, si la reacción fuera estequiométrica, 2 ppm de sulfato de aluminio reaccionarían con 1 ppm de alcalinidad.

Por lo que una forma aproximada de determinar la dosis es midiendo las alcalinidades del agua bruta y decantada, y aplicar la siguiente

fórmula:

$$D_{\substack{\text{(ppm de} \\ \text{Sulfato de Aluminio)}}} = \left(\text{Alcalinidad}_{\substack{\text{agua bruta} \\ \text{(ppm CaCO}_3)}} - \text{Alcalinidad}_{\substack{\text{agua Coagulada} \\ \text{(ppm CaCO}_3)}} \right) \times 2$$

Ejemplo 3.4:

Se mide la alcalinidad del Agua bruta y Agua coagulada obteniendo los siguientes resultados:

- Agua Bruta: 80 ppm de CaCO_3

- Agua Decantada: 65 ppm de CaCO_3

Calculo de la dosis de Sulfato de Aluminio:

$$D = (80 \text{ ppm} - 65 \text{ ppm}) \times 2 = 30 \text{ ppm}$$

PRUEBA DE JARRAS

La utilización de la prueba de jarras (Jar test), ha sido de fundamental importancia para el diseño, optimización y operación de plantas de tratamiento de agua, y sigue siendo una herramienta fundamental para la evaluación de los procesos de coagulación- floculación y su posterior efecto sobre la sedimentación (o flotación) y filtración.

Las principales utilidades que puede obtener un operador de tratamiento con el uso del Jar-Test, son por ejemplo:

- ❖ Dosificación óptima de coagulantes
- ❖ Optimización del proceso de floculación
- ❖ Dilución adecuada del coagulante

El Jar-Test es capaz de simular, bajo ciertas hipótesis, el proceso de mezcla de coagulantes con el agua, la posterior floculación y sedimentación.

Consiste en una armazón con un juego de generalmente 6 jarras y de 2 litros de capacidad, provistas cada una de una paleta que puede girar con velocidades entre 0 y 300 r.p.m. Para representar los diversos grados de agitación utilizados en la planta de tratamiento.

La velocidad de giro de las paletas es la misma en todas las jarras, lo que posibilita realizar varios ensayos al mismo tiempo bajo las mismas condiciones de agitación.

Las jarras pueden ser cuadradas o cilíndricas. En el caso de jarras cilíndricas, es conveniente que tengan estatores para evitar el giro de la masa líquida y favorecer la agitación.

Gradiente de velocidad

Al igual que en una planta de tratamiento, el gradiente de velocidad debe ser máximo al comienzo (mezcla rápida), y luego decrecer en las etapas siguientes.

Cada aparato Jar-Test, tiene asociada una curva que relaciona el gradiente de velocidad con la rapidez de giro de las paletas en r.p.m.. Conocida esa curva, que dependerá de las características de cada equipo (dimensiones de las paletas, forma de las jarras, etc.), se puede conocer el gradiente de velocidad G que se puede simular en el mismo.

A pesar de que la mayoría de los aparatos son semejantes, ellos no son exactamente idénticos, aunque en nuestro país el más conocido es el Phipps & Bird, con jarras de dos litros, y curvas de calibración de gradientes sumamente confiables.

Dosificación óptima de coagulantes

Es quizás la aplicación más común del Jar-Test, y la de mayor difusión entre los operadores de tratamiento. Consiste en determinar la dosis óptima de coagulante para determinadas características del agua bruta, y para una planta de tratamiento en particular.

Para realizar el ensayo se debe determinar previamente los gradientes de velocidad del proceso de floculación, tiempo de retención en cada floculador y tasa del proceso de sedimentación.

Si bien son necesarias y muy útiles las determinaciones mencionadas, existe un ensayo de jarras “normalizado”, con 1 minuto de mezcla rápida, 10 minutos de agitación, y 10 minutos de sedimentación en las jarras, aunque debe tenerse presente que en general no se corresponde con la realidad de la planta, por lo que extrapolar resultados puede conducir a errores importantes.

Determinación de la dosis óptima:

Procedimiento:

1. Extraer una muestra del agua bruta, y medir:
 - ♦ Turbiedad
 - ♦ Alcalinidad
 - ♦ pH
 - ♦ Color
2. Preparar una solución de sulfato de aluminio, de modo que 1 ml. de solución aplicado a una jarra de 2 litros de agua bruta represente una dosis de 10 ppm, la concentración de ésta solución será de 20 g/l, de aquí en adelante la llamaremos solución Jar Test.

Se preparará 1 litro (V_2) de Solución Jar Test de sulfato de aluminio con una concentración $C_2=20$ g/l. Para prepararla vamos a diluir la solución que se está utilizando en la Planta potabilizadora como se explicará a continuación o bien la vamos a preparar pesando 20 gramos de sulfato de aluminio técnico y disolviéndolo en un litro de agua de red.

Si va a trabajar con la solución que se está utilizando para dosificar en la Planta potabilizadora y esta solución tiene una concentración C_1 (por ejemplo: $C_1=100$ g/l), deberá calcular el volumen V_1 a agregar de la misma para preparar el volumen de Solución Jar Test deseado.

Para realizar ese cálculo utilizaremos la ecuación de balance de masa:

$$V_1 C_1 = V_2 C_2$$

Donde V_1 es el volumen de solución que se usa en planta a agregar, C_1 es la concentración de la solución de planta, V_2 es el volumen de Solución Jar Test a preparar (en nuestro ejemplo 1 litro) y C_2 la concentración de dicha solución (en nuestro ejemplo 20 g/l)

Despejando de la ecuación de balance de masa:

$$V_1 = \frac{V_2 * C_2}{C_1}$$

Por ejemplo, si $C_1=100$ g/l; $V_2=1$ l; $C_2=20$ g/l entonces $V_1=0,2$ litros o 200 ml.

Se recomienda preparar la solución Jar Test diariamente.

3. Cargar las seis jarras con 2 litros de agua bruta.
4. Escoger una secuencia de dosis a aplicar, que abarquen un rango importante entorno a la dosis que se esté aplicando en planta. Por ejemplo, si en la planta la dosis es de 50 ppm, una posibilidad es:
 - Jarra 1: 35 ppm
 - Jarra 2: 40 ppm
 - Jarra 3: 45 ppm
 - Jarra 4: 50 ppm
 - Jarra 5: 55 ppm
 - Jarra 6: 60 ppm
5. Encender el equipo, haciendo girar a máxima velocidad para simular la mezcla rápida, y aplicar las dosis indicadas todas al mismo tiempo. Dejar agitando durante 30 seg. o 1 min.

Para lograr las dosis deseadas, se deberán aplicar los siguientes volúmenes de solución de sulfato de aluminio de concentración 20 g/l.

❖ Jarra 1:	3,5 ml
❖ Jarra 2:	4,0 ml
❖ Jarra 3:	4,5 ml
❖ Jarra 4:	5,0 ml
❖ Jarra 5:	5,5 ml
❖ Jarra 6:	6,0 ml

6. Bajar la velocidad de giro de las paletas a la correspondiente a la floculación. Esta etapa puede estar constituida por distintas velocidades con sus correspondientes tiempos de agitación.

Por ejemplo:

- ♦ 5 minutos a 60 r.p.m.
- ♦ 5 minutos a 40 r.p.m.

7. Parar el equipo, y dejar sedimentar el tiempo preestablecido, luego del cual se deben extraer las muestras de las jarras, todas al mismo tiempo.
8. Analizar las muestras, determinando los mismos parámetros medidos en el agua bruta.

Si no se dispone de instrumental suficiente, medir por lo menos la turbiedad de la muestra.

Visualmente y de acuerdo a su experiencia, el operador puede sacar conclusiones importantes en cuanto al tamaño y consistencia del floc producido, y su posterior efecto sobre la sedimentación.

9. Llenar una planilla con los datos medidos.

Dosis óptima

En general, se habla de que la dosis óptima es aquella que presenta menor turbiedad residual, aunque esto dependerá de cada caso particular (uno podría elegir la jarra con menor color, sin olor, etc.), además deberá tenerse en cuenta el error del turbidímetro ($\pm 5\%$) utilizado en la comparación de valores de turbiedad.

Para simular el proceso completo de tratamiento, luego de extraer las muestras de las jarras, se pueden filtrar en papel wathman N° 40 para obtener una representación de la etapa de filtración. En ciertas ocasiones, la muestra de menor turbiedad en el ensayo de sedimentación, no se corresponde con la de menor turbiedad luego de filtrada. En este caso la dosis óptima corresponderá a la que presenta menor turbiedad residual en el agua filtrada.

Es importante que se tenga en la planta un registro de los ensayos realizados, indicando las características del agua bruta correspondiente.

Ejemplo 7.1

En una planta de tratamiento, el agua bruta tiene las siguientes características:

Color:	80 unidades
Turbiedad:	28 NTU
Alcalinidad total:	100 mg/l de CaCO_3

Un ensayo de jarras dio los siguientes resultados:

	JARRA 1	JARRA 2	JARRA 3	JARRA 4	JARRA 5	JARRA 6
DOSIS (ppm)	25	30	35	40	45	50
TURBIEDAD (NTU)	12.0	4.81	2.80	2.70	3.81	4.12

Analizando los datos, si bien la menor turbiedad residual se obtiene para una dosis de 40 ppm (2.70 NTU), para una dosis de 35 ppm se obtiene un valor de turbiedad muy cercano a este último (2.80 NTU).

Se debe verificar si el valor de 2.80 NTU se encuentra dentro del rango de error de medida del turbidímetro de 5%.

Para ello se le suma un 5% al menor valor de turbiedad del ensayo:

$$2.70 \times 1.05 = 2.83$$

Entonces debemos verificar si en el ensayo hay alguna jarra cuya turbiedad sea menor o igual a 2.83 NTU y tiene asociada una dosis de sulfato menor a 40 ppm. En este ejemplo esto sucede, y la dosis óptima será la Jarra 3, cuya turbiedad es 2,80 (valor menor a 2,83) que se obtiene con una dosis de sulfato de 35 ppm.

Si seguimos analizando el resultado del ensayo, veremos que si aumentamos la dosis de sulfato, por ejemplo para 45 ppm, el resultado en turbiedad desmejora un poco y además será lógicamente antieconómica su aplicación.

Otros aspectos a tener en cuenta al analizar los resultados del ensayo corresponden a la identificación del pH y Alcalinidad óptimos de coagulación, lo que consiste en medir los valores de pH y Alcalinidad asociados a la dosis óptima, estos serán parámetros a controlar en el agua coagulada de la Planta para realizar un seguimiento del proceso.

Optimización del proceso de floculación

Una de las aplicaciones importantes que puede tener la prueba de jarras para los operadores de plantas de tratamiento, es la optimización del proceso de floculación.

Si bien en una planta generalmente los parámetros hidráulicos están predeterminados y son invariables, siempre es posible al menos una pequeña variación de los mismos que permita lograr mejoras en el funcionamiento de las unidades.

Cuando se dispone de floculadores mecánicos, en los cuales se puede variar las velocidades de giro de las paletas y por lo tanto la intensidad de la mezcla, es factible la optimización del proceso mediante la prueba de jarras. Luego de determinar la dosis óptima por el mecanismo indicado anteriormente, se procede a realizar diferentes ensayos de jar-test, con la misma dosis, pero cambiando las condiciones de agitación, que representen distintos gradientes de velocidad en la planta. De esta forma se selecciona el o los gradientes de velocidad adecuados, y se trata de representarlos en la planta.

Dilución óptima del coagulante

Es otro de los tantos ensayos que se pueden realizar con la prueba de jarras. Si bien en la planta se trabaja habitualmente con una dilución de sulfato de aluminio preestablecida, muchas veces esta no es adecuada y no se logran los resultados que debieran esperarse.

La calidad del agua decantada y filtrada, está íntimamente relacionada con la dilución del sulfato de aluminio.

La experiencia indica que la dilución óptima, se sitúa en torno a los 20 g/l. Aunque puede ser beneficioso trabajar con otras diluciones, es importante tener en cuenta la infraestructura instalada, la posibilidad de diluciones en línea y la mezcla rápida que pueda alcanzarse lo que no siempre es tan sencillo de evaluar mediante una prueba de jarras.

El ensayo para determinar la dilución óptima consiste en aplicar la misma dosis en las seis jarras, pero con distintas soluciones de sulfato, por ejemplo:

- ♦ Jarra 1: 5 g/l (0,5 gramos de sulfato en 100 ml de solución)
- ♦ Jarra 2: 10 g/l (1,0 gramos de sulfato en 100 ml de solución)
- ♦ Jarra 3: 15 g/l (1,5 gramos de sulfato en 100 ml de solución)
- ♦ Jarra 4: 20 g/l (2,0 gramos de sulfato en 100 ml de solución)
- ♦ Jarra 5: 25 g/l (2,5 gramos de sulfato en 100 ml de solución)
- ♦ Jarra 6: 30 g/l (3,0 gramos de sulfato en 100 ml de solución)

Si quiere aplicar una dosis de 30 ppm en cada una de las jarras, debemos agregar los siguientes volúmenes de solución, para las diluciones indicadas:

- ♦ Jarra 1: 12,0 ml
- ♦ Jarra 2: 6,0 ml
- ♦ Jarra 3: 4,0 ml
- ♦ Jarra 4: 3,0 ml
- ♦ Jarra 5: 2,4 ml
- ♦ Jarra 6: 2,0 ml

Se escogerá la jarra en la que se obtenga la menor turbiedad residual, y la dilución correspondiente será la más adecuada para utilizar en la planta de tratamiento. Si las instalaciones de la planta no permiten realizar esa dilución, por no contar con dosificadores o tanques de capacidades adecuadas, se puede preparar una solución “madre” más concentrada, la cual se dosificará, y luego diluir nuevamente previo al punto de aplicación.

Conclusiones

Las indicadas son solo algunas de las principales aplicaciones que tiene el equipo de jarras, que pudieran ser de utilidad en cuanto a la operación de una planta de tratamiento de agua, para iniciar al operador en la utilización de esta herramienta tan importante.

Además de las aplicaciones resumidas en este manual, es necesario mencionar que la prueba de jarras es de suma utilidad también para los ingenieros diseñadores de plantas de tratamiento, para la selección de polielectrolitos, etc., y es hasta el momento, la mejor forma de simular o predecir, a escala de laboratorio, la eficiencia de los fenómenos de coagulación, floculación y sedimentación.

RUTINAS DE OPERACION DE PLANTAS DE TRATAMIENTO

En los capítulos anteriores, se han desarrollado conceptos teóricos y prácticos relativos al tratamiento y análisis del agua, a los efectos de brindar al operador los conocimientos necesarios para iniciarse en la operación de plantas.

Este capítulo tiene la finalidad de proponer una serie de rutinas de trabajo, de modo que los operadores cuenten con los conocimientos necesarios para realizar una operación eficiente de las plantas.

PUESTA EN MARCHA

La puesta en marcha de la planta, involucra todas aquellas tareas necesarias para su puesta en funcionamiento, y deberá hacerse diariamente si el funcionamiento no es continuo, o esporádicamente de acuerdo a las necesidades de producción de la localidad abastecida.

Esta rutina cuenta con dos etapas importantes: Controles previos y encendido.

Para proceder al encendido, es imprescindible realizar una serie de controles previos, que nos van a garantizar un correcto encendido y un normal funcionamiento, además de evitar contratiempos que pudieran retardar la puesta en marcha de la planta. Es necesario entonces, dedicar cierto tiempo a este tipo de tareas aparentemente accesorias, pero que resultan fundamentales para llegar rápidamente a un régimen estable de funcionamiento.

CONTROLES PREVIOS

1. **Analizar el agua bruta**, determinando alcalinidad, pH, turbiedad y color. Si la planta se encuentra implantada desde cierto tiempo, que haya permitido establecer cuál es el parámetro determinante para la fijación de la dosis, en esta instancia medir únicamente ese parámetro.
- ❖ Si las condiciones no han cambiado, el encendido se realizará con la misma dosis de coagulante del día anterior.
- ❖ Si se produjo una variación en alguno de los parámetros del agua bruta, paralelamente con las actividades siguientes puede realizarse un ensayo de jarras para determinar la dosis adecuada.
10. Controlar que todas las válvulas de salida estén cerradas.
11. Controlar que los dosificadores tengan en sus depósitos el producto químico necesario. Si es preciso encender los agitadores

para homogeneizar la solución y en función de la solución medir la densidad para corroborar la concentración.

4. Verificar que las luces de fase estén encendidas (si hubiera) y que el voltímetro marque el valor adecuado.

ENCENDIDO

1. Si la planta cuenta con Floculadores mecánicos, encenderlos
2. Poner en marcha la dosificación de Sulfato de Aluminio y si corresponde de prealcalinizante y polielectrolito.
3. Encender la **Provedora**, controlando que el amperímetro, indique la intensidad adecuada (dato proporcionado por los mecánicos responsables del mantenimiento). Medir el caudal Q de agua bruta aportado a la planta. El conocimiento de este dato es fundamental para poder aplicar en forma correcta los productos químicos en las proporciones deseadas.
12. Ajustar la dosis de sulfato de aluminio a la determinada en controles previos. Para la aplicación de la dosis deseada, se tendrán en cuenta las relaciones establecidas en capítulos anteriores, que involucran el caudal Q de la planta, la concentración de la solución de sulfato de aluminio y la dosis.
13. En el caso que estuvieron inactivas durante más de un día abrir llave o compuerta de descarga de agua de lavado de los filtros y de sedimentadores, para eliminar parte del agua contenida la planta. Cerrar la llave o compuerta
14. Controlar que el agua sedimentada tenga una calidad adecuada. De no ser adecuada usar metodología punto 5.
15. Abrir válvula de filtrado al desagüe
16. Medir turbiedad de agua filtrada. Si la turbiedad medida es menor de 1 NTU cerrar válvula de filtrado al desagüe
17. Abrir válvula de agua filtrada al depósito y poner en marcha el sistema de desinfección y si corresponde el sistema de post-alcalinización.
18. Encender bomba elevadora (este paso se puede realizar previamente a criterio del operario).



El tiempo de filtrado al desagüe no debería exceder 5 minutos.

FUNCIONAMIENTO

Cuando la planta está en marcha, el operario deberá seguir una serie de operaciones para mantener y mejorar la calidad del agua, de acuerdo a las normas vigentes.

Análisis de agua

Se debe determinar la Turbiedad, alcalinidad, pH y color del agua bruta en forma periódica de acuerdo a la rutina establecida en la usina.

Determinación de Turbiedad

Se debe determinar la turbiedad cada hora de funcionamiento de:

- ❖ Agua decantada.
- ❖ Agua filtrada al pozo de agua clara.
- ❖ Agua elevada.

Si la turbiedad del agua decantada es elevada (de acuerdo con criterios establecidos previamente con los técnicos responsables), se deberá hacer las siguientes verificaciones:

La turbiedad del agua decantada deberá corregirse realizando una purga de lodos, o ajustando la dosis de sulfato a su valor correcto, según cual sea el problema identificado.

- ❖ *Controlar nivel de barro en decantador.*
- ❖ *Verificar si la dosis es correcta, chequeando la bomba dosificadora, el estado de la solución de sulfato, mangueras, etc., y la calidad del agua bruta.*

Si bien debe establecerse para cada caso particular, se considera un valor de turbiedad "aceptable" del agua decantada, si es inferior a 4 NTU.

Agua filtrada con turbiedad mayor al valor fijado como Límite de Alerta

Cada planta debe establecer un **Límite de Alerta (LA)** para la turbiedad del agua filtrada o elevada que siempre debe ser menor al valor establecido en la normativa 1 NTU, por ejemplo 0.8 NTU.

Si la turbiedad del agua filtrada al depósito de agua clara fuera mayor o igual al **Límite de Alerta** establecido realizar las siguientes tareas:

1. Verificar si aumentó la turbiedad del agua decantada. Si así fuera, proceder a las verificaciones y correcciones indicadas en el punto anterior.
2. Si la dosis es adecuada con relación a la calidad del agua bruta y el decantador está funcionando correctamente, el problema se encuentra en la etapa de filtración
 - ♦ Se debe determinar la turbiedad a la salida de cada filtro, para así identificar el filtro que se debe lavar. (ver lavado de filtros)

Esta tarea puede facilitarse si se registra las horas de funcionamiento que tiene cada filtro, ya que en general, si no existe otro tipo de inconvenientes, el filtro que lleva más horas funcionando es aquel que debe lavarse.

Si la turbiedad del agua elevada es mayor que **LA** y el de la filtrada en las dos últimas horas menor que **LA**:

- ♦ Comunicarlo a la regional
- ♦ Enviar para control de laboratorio una muestra del alcalinizante que se está usando en ese instante.
- ♦ Programar una limpieza del depósito de agua clara.

Determinación de Alcalinidad

Se debe determinar la Alcalinidad de agua coagulada cada dos horas para controlar la dosis de sulfato (sí la alcalinidad se mantiene, podemos inferir que la dosis también se mantiene, no habiendo cambios en las condiciones del agua bruta).

Determinaciones que debe realizar cada turno

En cada turno se debe:

- Hacer los controles de turbiedad, alcalinidad, pH y color del agua bruta, decantada y elevada. Además, en el agua elevada medir cloro.
- Realizar una prueba de jarras.
- Si el pH o la alcalinidad del agua tratada, están por debajo de los límites establecidos por las normas de calidad, se deben agregar alcalinizantes. Estos deben agregarse en el agua bruta, cuando existe un déficit de alcalinidad que impida la coagulación. (ver en capítulo 3 alcalinizantes)
- En caso de lluvias se debe intensificar la frecuencia de los análisis.

Control de dosificadores

Los siguientes controles deben hacerse en forma rutinaria, con la frecuencia que sea establecida por los técnicos responsables.

- ❖ Controlar que los depósitos de los dosificadores tengan solución, de no ser así cambiar de depósito y/o preparar más solución (ver preparación de soluciones).
- ❖ Controlar y ajustar las dosis, toda vez que sea necesario para mejorar la calidad del tratamiento sobre la base de los parámetros obtenidos en los análisis del agua.
- ❖ Controlar el estado de mangueras y filtro de la bomba dosificadora.

Controles de funcionamiento

- ❖ Controlar que el nivel de agua en el filtro sea adecuado (“no lloren”)
- ❖ Controlar el consumo y la temperatura de los motores.
- ❖ Controlar el nivel de agua en el depósito de agua filtrada.
- ❖ Controlar el nivel de agua en el tanque de distribución.
- ❖ Controlar el nivel del tanque de lavado, si hubiera.
- ❖ De acuerdo a la turbiedad y la cantidad de flóculos que llegan a los filtros, si corresponde realizar las descargas de lodos del decantador cada vez que sea necesario.
- ❖ Si la planta cuenta con floculadores mecánicos Controlar el giro de los floculadores, y al menos una vez por día verificar la velocidad de rotación de los mismos.
- ❖ Controlar visualmente que en los floculadores se estén formando efectivamente los flóculos, con el tamaño y la consistencia adecuados.

Operación del decantador

El decantador es una unidad que no tiene elementos mecánicos.

Los únicos controles que requiere su operación son:

- ❖ Visualmente que el agua decantada no cuente con muchos flóculos.
- ❖ Que la turbiedad del agua decantada no supere los valores máximos establecidos.
- ❖ Que se realicen las purgas de lodos y/o limpiezas generales necesarias para evitar que estos se acumulen en exceso.

Este punto debe ser cuidadosamente estudiado en cada caso, determinando una rutina de descargas y/o limpiezas que sea suficiente pero no excesiva. Las purgas se realizan operando las válvulas de descarga correspondientes.

Lavado de Filtros

Se debe lavar un filtro cuando:

- ❖ Por Turbiedad. La turbiedad de agua filtrada es superior a **LA**, con excepción de aquellas situaciones especiales en que la turbiedad del agua filtrada no sea producto del filtro sino de problemas en las etapas anteriores del proceso de potabilización. Un ejemplo de esto es cuando se corta la dosificación de sulfato.
- ❖ Por Pérdida de Carga. Con toda la válvula de salida abierta, el nivel de agua en los filtros se encuentra próximo a alcanzar el nivel del fondo de la canaleta de agua decantada.
- ❖ Ha cumplido una carrera de 48 horas.

Proceso de lavado

Pasos a seguir:

Para plantas con más de un filtro

- 1º Cerrar la compuerta de agua decantada del filtro que va a lavarse.

Para plantas con un solo filtro.

- 1º Abrir la válvula de salida de lodos del decantador; cuando el nivel del agua alcance la parte superior de las placas, cerrar.

Si funciona una sola unidad cerrar la aplicación de desinfectante y post-alcalinizante.

- 2º Cerrar la válvula de salida del agua filtrada. Si la planta cuenta con sistema de lavado superficial, cerrar esta válvula cuando el nivel de agua llegue a 5 o 10 cm de la superficie del manto.

- 3º Abrir la llave o compuerta de desagüe de la canaleta.

4° Si existe sistema de lavado superficial, encenderlo durante un tiempo de 1 a 4 minutos, dependiendo de la suciedad existente en la superficie del filtro.

5° Abrir lentamente la válvula del agua de lavado hasta lograr el máximo caudal preestablecido.

Si hubiera bomba de lavado, previamente encenderla, mediante el botón arrancador que se encuentra en el tablero (estas bombas por lo general son sumergibles y no necesitan cebado).

6° Cuando el agua parezca realmente limpia (turbiedad menor a 20 NTU), cerrar la válvula del agua de lavado (duración del lavado entre 5 y 10 minutos).

7° Cerrar la válvula o compuerta de desagüe de la canaleta.

Para plantas con más de un filtro:

8° Abrir lentamente la válvula o compuerta de entrada de agua decantada, evitando turbulencias y agitaciones en la capa de arena.

9° Abrir la válvula de salida de agua filtrada al desagüe hasta que el agua filtrada tenga una turbiedad menor de 1 NTU, durante un tiempo que no debería exceder de 5 minutos.

10° Cuando se alcance turbiedades menores de 1 NTU, cerrar la válvula de salida de agua filtrada al desagüe.

11° Abrir la válvula de salida de agua filtrada al pozo de agua clara.

En el caso de las UPA200 si se hubiera cerrado la aplicación de desinfectante y post-alcalinizante, abrirla.

APAGADO

Proceso de apagado

1° Se cierra la llave del agua filtrada al pozo de agua clara.

2° Se apaga la proveedora y la bomba dosificadora de sulfato

3° Se apaga el sistema de desinfección y los demás productos químicos que se estén aplicando al agua.

4° Se apagan los agitadores.

5° Se apaga el equipo de elevadoras.

6° Se apaga el generador si hubiera o se baja la llave de fuerza motriz de la usina de manera de asegurar que los equipos no queden con tensión

MANTENIMIENTO PERIÓDICO

Limpieza de decantadores y floculadores

Esta limpieza debe hacerse en los períodos que aconseje el técnico responsable y tiene por objetivo el mantenimiento de la unidad.

La limpieza consiste en descargar toda el agua y los barros del decantador y el floculador, remover los depósitos (algas etc.) que pudieran haber en las paredes, y manguerear toda la unidad.

Mantenimiento de dosificadores.

Limpieza de dosificadoras

Todos los meses se debe hacer la limpieza de las conexiones y las tuberías de todas las bombas dosificadoras que se usaron en el período. Esta operación consiste en hacer pasar agua filtrada a través de esos elementos.

Control de membranas

Controlar que las membranas de las dosificadoras sean revisadas por un mecánico en un período menor a un año.

Mantenimiento de filtros

Limpiezas especiales a los filtros para mantenimiento del manto de arena.

Lavados superficiales

Si la planta no cuenta con un sistema de lavado superficial, deberá hacerse el mismo en forma manual, en períodos no mayores de una semana en cada filtro. Tienen por objetivo el mantenimiento de la superficie filtrante y además permite controlar el estado de la arena y definir si no es necesario un tratamiento más profundo.

Técnica de lavado superficial manual:

1° Cerrar la válvula o la compuerta de agua decantada.

Para plantas con un solo filtro:

1° Realizar esta operación con la planta parada.

2° Cuando el nivel de agua en el filtro esté a 20 cm sobre la arena cerrar la válvula de salida del agua filtrada.

- 3° Observar el estado del filtro e informar a los técnicos responsables si existen bolas de barro, grietas y/o montículos.
- 4° Abrir la compuerta de desagüe de la canaleta de lavado.
- 5° Manguerear superficie y paredes del filtro.
- 6° Continuar en paso 5 de lavado de filtro descrito en el capítulo anterior.

Lavado especial con Soda o con Hipoclorito de Sodio

Estos lavados deben ser realizados cada 6 meses con cada producto, no en forma simultánea, preferentemente primero realizar el lavado con soda.

Lavado con soda. Tiene por objetivo realizar una limpieza profunda, eliminando los elementos que se han adherido, prolongando la vida útil del filtro.

Lavado con Hipoclorito de sodio. Se realiza para efectuar una desinfección en profundidad del manto filtrante.

El trabajo se debe realizar al terminar el bombeo y cuando la planta dejará de funcionar por varias horas.

La frecuencia de estas operaciones puede aumentarse de acuerdo a las necesidades de limpieza y/o desinfección que se tengan.

Técnica de lavado

- 1° Cerrar el ingreso de agua decantada al filtro.

En las plantas que cuentan con un solo filtro se debe detener la planta.

- 2° Cerrar la válvula de agua filtrada al depósito de agua clara, dejando un nivel de agua a la altura de la canaleta de lavado.
- 3° Agregar las cantidades indicadas del producto necesario, revolviendo de modo que se distribuya en todo el filtro, tratando de no desacomodar la arena.
- 4° Abrir la válvula de filtrado al desagüe hasta que el nivel de agua quede unos 10 cm por encima del lecho de arena, de modo que la solución del producto penetre dentro del manto de arena.
- 5° Transcurridas 24 horas, abrir la válvula de filtrado al desagüe y eliminar toda el agua contenida en el filtro.

6° Efectuar un lavado a contracorriente del filtro.

Las cantidades de producto a utilizar deben ser definidas por un técnico.

APENDICES

Apéndice 1

Aforo de bomba dosificadora

Las bombas dosificadoras cuentan con un dial que sirve para regular el caudal de la solución de producto químico que se está dosificando. Operando el mismo, es posible cambiar la dosis del producto, de acuerdo a las necesidades de tratamiento.

El dial indica el porcentaje con respecto al caudal total que la bomba es capaz de entregar. Por ejemplo, si la bomba es para 120 litros por hora, un 50%, significa que el caudal que la bomba eroga en ese punto es de 60 litros por hora. Pero por lo general, en el bombeo de soluciones, la variación de caudal no es perfectamente proporcional, dependiendo de la presión de descarga y del estado de colmatación del filtro de succión, por lo que no podemos confiarnos plenamente del dial indicador de la bomba.

Es conveniente, para conocer el caudal de la bomba en distintas posiciones del dial, realizar un "aforo" para cada posición, y elaborar una tabla con los datos obtenidos de caudal.

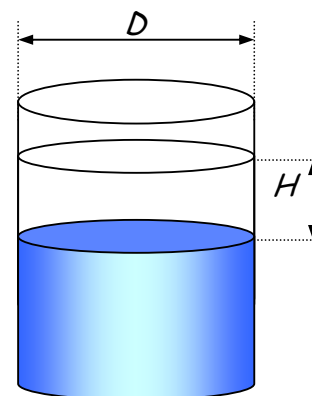
Aforar la bomba es determinar cuántos litros de solución es capaz de entregar en una hora de funcionamiento. Para determinarlo, podríamos medir el volumen de toda la solución que extrae en una hora, pero eso es poco práctico, por lo general el aforo se realiza en pocos minutos.

El aforo deberá realizarse en la succión de la bomba en los casos en que la inyección sea en una tubería a presión.

Para depósito cilíndrico

Pasos a seguir

- 1° Por medio de una cinta métrica, medimos el diámetro del depósito y sustituimos la letra "**D**" de la fórmula por el valor, expresado en centímetros.
- 2° Medimos la altura de solución y tomamos el tiempo.
- 3° Al cabo de unos minutos, tomamos el tiempo y medimos la altura en el mismo instante.
- 4° Calculamos el tiempo transcurrido en segundos y sustituimos la letra "**T**" de la fórmula por el valor.



- 5° Calculamos la altura que descendió la solución, en centímetros, restando a la altura inicial la final y con el resultado sustituimos la letra "**H**" de la fórmula.

$$q = \frac{2,826 \times H \times D \times D}{T}$$

q = Caudal de la bomba dosificadora expresado en litros/hora

2,826 = Factor de conversión.

H = *variación de la* altura del depósito expresada en centímetros

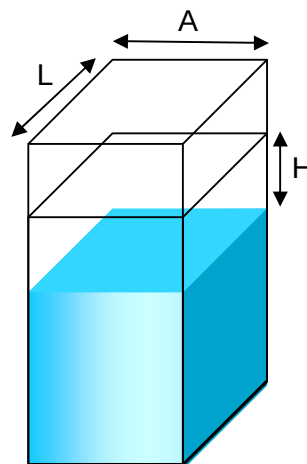
D = Diámetro del depósito expresado en centímetros

T = Tiempo transcurrido expresado en segundos

Para depósito de base rectangular

Pasos a seguir

- 1° Por medio de una cinta métrica medimos: las dimensiones de la superficie: largo y ancho; luego sustituimos las letras **L** y **A** por los valores obtenidos expresados en centímetros.
- 2° Medimos la altura de solución en centímetros y tomamos el tiempo.
- 3° Posteriormente, luego de que observemos que el nivel desciende un valor apreciable, tomamos el tiempo y medimos la altura en el mismo instante.
- 4° Calculamos el tiempo transcurrido en segundos y sustituimos la letra "**T**" de la fórmula por el valor.
- 5° Calculamos la altura, que descendió la solución, en centímetros restando a la altura inicial la final y con el resultado sustituimos la letra "**H**" de la fórmula.



$$q = \frac{3,6 \times L \times A \times H}{T}$$

q = Caudal de la bomba dosificadora expresado en litros/hora

3,6 = Factor de conversión.

L = Largo de la base del depósito expresado en centímetros.

A = Ancho de la base del depósito expresado en centímetros

H = *variación de la* altura del depósito expresada en centímetros

T = Tiempo transcurrido expresado en segundos

Realizar aforos para las posiciones 10, 20, 30 etc. del dial de la bomba dosificadora, y elaborar una tabla con los valores de caudal obtenidos en los correspondientes aforos.

Es conveniente chequear periódicamente la tabla, realizando nuevos aforos

Ejemplo 8.1: Una bomba dosificadora, con el dial en determinada posición, provoca que el nivel en el depósito de sulfato de aluminio descienda 5 cm en 15 minutos. El depósito de sulfato es cilíndrico, y su diámetro es 60 cm.

Primeramente, debemos calcular el tiempo en segundos:

$$T = 15 \text{ min} \times 60 = 900 \text{ seg}$$

Aplicando la fórmula para depósitos cilíndricos:

$$q = \frac{2,827 \text{ ls/hcm}^3 \times 5 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}}{900 \text{ seg}} = 56,3 \text{ l/h}$$

Apéndice 2

Determinación del caudal de la bomba proveedora para plantas pequeñas.

Si no se cuenta con indicador de caudal, se debe realizar un aforo de la bomba proveedora, para determinar el caudal de agua que se está tratando en la planta. El aforo se realiza en un filtro, mediante el siguiente procedimiento:

Pasos a seguir:

1° Primeramente es necesario calcular el área del filtro.

Los filtros tienen una sección rectangular, y el área se calcula mediante el producto $L \times A$ (largo por ancho), ambos medidos en metros.

El resultado del área S nos da en metros cuadrados (m^2).

$$S = L \times A$$

Con el valor obtenido sustituimos la letra S de la fórmula.

2° Se hace bajar el agua en el filtro hasta un determinado nivel y se cierra la válvula de salida.

Siempre con la usina en marcha, evitando que ingrese agua al filtro, mediante apertura de las descargas de lodo del decantador. Se deben cerrar los ingresos de agua decantada a los otros filtros.

3° Se cierran las descargas de lodo del decantador, y a partir de que comienza a entrar agua al filtro, se toma el tiempo que tarda el agua en llegar a la parte inferior de la canaleta. Con ese valor de tiempo en segundos sustituimos la letra T de la fórmula. El valor de H es la altura de agua que subió el filtro.

4° Con los datos obtenidos calculamos:

$$Q = \frac{36 \times S \times H}{T}$$

Q = Caudal de proveedoras expresados en m^3/h .

36 = Factor de conversión para que el resultado se exprese en m^3/h .

S = El área de la superficie del filtro expresada en m^2 .

H = Altura de la canaleta con respecto al agua expresada en cm.

T = Tiempo que tarda en llegar el nivel del agua a la parte inferior de la canaleta expresada en s.

Ejemplo 8.2: Para las UPA200, el filtro tiene las siguientes dimensiones:

Largo **L** = 1,5 m y ancho **A** = 1,5 m → **S** = 1,5 m x 1,5 m = 2,25 m²

*Si el tiempo en ascender 10 cm el nivel en el filtro, con la válvula de salida cerrada, es **T** = 1 min.7 seg*

Primero debemos expresar el tiempo en segundos, para ello multiplicamos los minutos por 60 y al resultado se lo sumamos a los segundos

1 min x 60 = 60 s → 60 s + 7 s = 67 s

Para calcular el caudal aplicamos la fórmula:

$$Q = \frac{36 \times 2,25 \text{ m}^3 \times 10 \text{ cm}}{67 \text{ s}} = 12 \text{ m}^3/\text{h}$$

Apéndice 3

Tablas de Gradiente de velocidad de UPAs

(G) del floculador en función de la velocidad de rotación del agitador (ω)

UPA 200		Temperatura en $^{\circ}\text{C}$					Gradiente en s^{-1}
w en RPM		5	10	15	20	25	
	10	14	15	16	17	18	
	15	28	30	32	34	37	
	20	47	50	54	57	61	
	25	69	75	80	85	90	
	30	96	103	110	117	124	
	35	126	135	144	154	163	
	40	159	171	183	195	207	

UPA 1000		Temperatura en $^{\circ}\text{C}$					Gradiente en s^{-1}
w en RPM		5	10	15	20	25	
	10	11	12	13	14	15	
	15	23	25	27	29	31	
	20	39	42	45	48	51	
	25	58	62	67	71	75	
	30	80	86	92	98	104	
	35	105	113	121	129	137	
	40	133	143	153	163	173	

UPA 2000- UPA 4000		Temperatura en $^{\circ}\text{C}$					Gradiente en s^{-1}
w en RPM		5	10	15	20	25	
	10	9	10	10	11	12	
	15	19	20	21	23	24	
	20	31	33	36	38	40	
	25	46	49	53	56	60	
	30	63	68	73	78	82	
	35	83	90	96	102	108	
	40	105	113	121	129	137	

Referencia: Adaptado de Informe OSE-Facultad de Ingeniería, Determinación del G en el Floculador Mecánico, 2000.

Apéndice 4

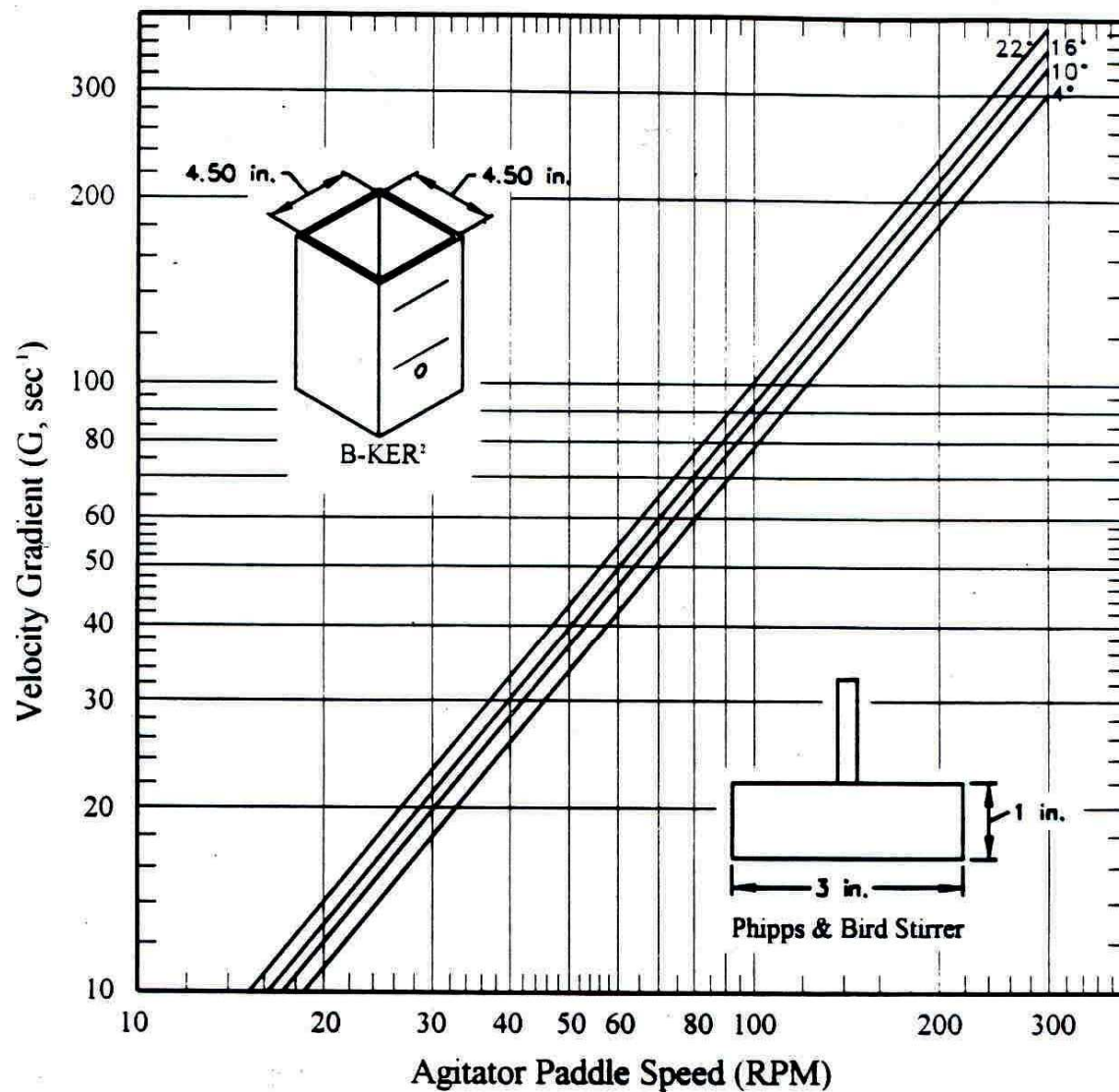
Gradiente de velocidad (s-1) para Equipo Phipps & Bird

Jarras de 2 litros de sección cuadrada de 4,5 pulgadas de lado y paleta de sección rectangular de una pulgada de altura y 3 pulgadas de largo

ω Velocidad de giro del agitador.

		TEMPERATURA del agua expresada en °C			
		4,0	10	16	22
Velocidad de giro del agitador (W) expresado en RPM	4	2	2	2	2
	6	3	3	3	3
	8	4	4	4	5
	10	5	5	6	6
	12	6	7	7	8
	14	7	8	8	9
	16	8	9	10	11
	20	11	12	13	14
	24	14	15	16	18
	26	15	17	18	19
	28	17	18	19	21
	30	18	20	21	23
	32	20	22	23	25
	34	21	23	25	27
	36	23	25	26	29
	38	24	27	28	31
	40	26	28	30	33
	42	27	30	32	35
	44	29	32	34	37
	46	31	34	36	39
	48	32	35	37	41
	50	34	37	39	43
	55	38	42	44	48
	60	42	46	49	54
	65	47	51	54	59
	70	51	56	59	65
	75	55	61	64	70
	80	60	66	70	76
	85	65	71	75	82
	90	69	76	80	88
	95	74	81	86	94
	100	79	87	91	100
	125	103	114	120	131
	150	129	142	150	164
	175	156	171	181	198
	200	183	201	213	232
	225	211	232	245	268
	250	240	264	279	305
	275	270	296	313	342
	300	300	329	348	381
	325	330	363	384	420

Gradiente de velocidad expresado en s⁻¹



Velocity Gradient vs. Agitator Speed for a 2-liter Square Beaker (B-KER²), Using a Phipps & Bird Stirrer. Water samples are at various temperatures (C°).

Apéndice 5

Reglamento para la manipulación de productos químicos en Plantas de potabilización

R/G.G. 06/03/2003

1. Para la manipulación de Hipoclorito, Soda Cáustica y Ácido Sulfúrico, es obligatorio el uso de los siguientes Equipos de Protección Personal:
 - Botas de PVC.
 - Guantes para manipular ácidos fuertes (al codo).
 - Delantal de Hule.
 - Protección para la vista (antiparras)
2. Para la manipulación de Soda, Sulfato Técnico, Carbón Activado, es obligatorio el uso de los siguientes Equipos de Protección Personal:
 - Guantes para manipular ácidos fuertes (al codo).
 - Delantal de hule.
 - Protección a la vista (antiparras).
 - Protección respiratoria (Media máscara con filtros para polvos)
3. El uso obligatorio de estos Equipos de Protección Personal será controlado y responsabilidad de la Jefatura Técnica Departamental correspondiente y/o por quienes ésta delegue. La existencia y uso de los referidos elementos será, además, controlado por Seguridad Industrial e Inspección General.
4. Las Jefatura Técnicas Departamentales procurarán que los funcionarios que realizan estos trabajos, cuenten con los Equipos de Protección correspondientes.
5. El incumplimiento de lo perpetuado en el presente Reglamento dará lugar a la aplicación de las sanciones previstas en el Reglamento Interno de Personal.

Apéndice 6

Límites para el control de operación y calidad en la Planta.

		Recomendada	Indicada o Exigida
Agua Coagulada	Alcalinidad	> 20 ppm CaCO ₃	> 10 ppm CaCO ₃
		comparar con Prueba de Jarras	
Agua Decantada	Turbiedad	< 4 NTU	
Agua Filtrada	Turbiedad	< 0,5 NTU	<1 NTU
Agua Elevada	Turbiedad	< 0,5 NTU	< 1 NTU (*)
	pH	entre 6,5 y 8,5	entre 6,5 y 8,5 (*)
	Cloro Residual libre	Entre 0,5 y 2,5 mg/l	< 2,5 mg/l (*)
	Cloro Residual Combinado	< 3 mg/l	< 3 mg/l
	Color	< 5 UPt-Co	< 15 UPt-Co (*)
	Olor y Sabor	No objetable	No objetable (*)

(*) De acuerdo a la Norma interna de OSE (*Aprobada por R/D N°1628/12 del 21/11/2012*).

Apéndice 7

Frecuencias para el Control del Tratamiento de Agua en condiciones normales de Operación.

		Frecuencia Mínima en condiciones normales	
Control	Parámetro	Recomendada	Indicada o Exigida
Agua Bruta	Turbiedad	c/4 horas	c/8 horas
	Alcalinidad	c/4 horas	c/8 horas
	pH	c/4 horas	c/8 horas
	Color	c/4 horas	c/8 horas
	Olor	c/8 horas	
	Temperatura	c/8 horas	c/24 horas
Agua Coagulada	pH	c/4 horas	c/8 horas
	Alcalinidad	c/1 hora	c/1 hora
Agua Decantada	Turbiedad	c/1 hora	c/1 hora
Agua Filtrada	Turbiedad	c/1 hora	c/1 hora
Agua Elevada	Turbiedad	c/1 hora	c/2 horas (*)
	pH	c/1 hora	c/2 horas (*)
	Cloro Residual libre	c/1 hora	c/2 horas (*)
	Color	c/2 horas	c/8 horas (**)
	Olor y Sabor	c/2 horas	c/8 horas (**)
	Cloro Residual Total	c/8 horas	c/24 horas (*)
Aforo	Dosificadoras	c/4 horas	c/8 horas
	Proveedoras	c/4 horas	c/8 horas
Niveles	Pozo de Toma	c/4 horas	
	Depósito de Agua Clara	c/1 hora	c/2 horas
	Depósito Distribución	c/1 hora	c/2 horas
Soluciones Sulfato, Ceniza, Soda	nivel en los depósitos	c/ 8 horas o ante variaciones en la Alcalinidad o pH de la Coagulada	
	control filtros y mangueras	c/ 8 horas o ante variaciones en la Alcalinidad o pH de la Coagulada	
	Densidad	c/8 horas y al prepararla	c/8 horas y al prepararla

(*) Exigido por la norma interna de OSE (Aprobada por R/D N°1628/12 del 21/11/2012).

(**) Exigido por la norma interna de OSE (Aprobada por R/D N°1628/12 del 21/11/2012), puede variar según la población servida.

Apéndice 8

Determinación de cloro residual por método de DPD

SEGÚN TIPO DE PASTILLA O FOIL SE PUEDE DETERMINAR:

- CLORO RESIDUAL LIBRE
- CLORO RESIDUAL TOTAL
- CLORO RESIDUAL COMBINADO

MARCA	UTILIZA	RANGO
Hach	1 disco	0 a 3.5 ppm de cloro
Lovibond	Disco 1	0 a 1.0 ppm de cloro
	Disco 2	1.1 a 2.0 ppm de cloro
	Disco 3	2.0 a 5.0 ppm de cloro

MARCA	REACTIVO	DETERMINA
Hach	FOILS (SOBRESITOS DE 2 TIPOS)	PARA CLORO RESIDUAL TOTAL Y PARA CLORO RESIDUAL LIBRE
Lovibond	PASTILLA N°1	CLORO RESIDUAL LIBRE
	PASTILLA N°1 +	 CLORO RESIDUAL LIBRE  CLORO RESIDUAL TOTAL
	PASTILLA N°3 (EN LA MISMA MUESTRA)	
	PASTILLA N°4	CLORO RESIDUAL TOTAL

Apéndice 9

Ejercicios de apoyo para el módulo 1.

- 1 El gradiente de velocidad en la mezcla rápida, debe ser bajo, para que el proceso de coagulación sea eficiente.

☐ F☐ V
- 2 Cuando aumenta el caudal de la planta, aumenta la tasa de sedimentación

☐ F☐ V
- 3 Indique cuál de las dosis indicada es la correcta, cuando se tiene una alcalinidad del agua bruta = 100 ppm y alcalinidad del agua decantada = 80ppm
a) Dosis = 50 ppm ☐ b) Dosis = 10 ppm ☐ c) Dosis = 40 ppm ☐
- 4 Indique que valores de los siguientes es más favorable para la desinfección.
a) pH = 8,0 ☐ b) pH = 7,5 ☐ c) pH = 6,8 ☐
- 5 La filtración directa consiste en filtrar el agua directamente, sin sedimentar y sin aplicar sulfato de aluminio

☐ F☐ V
- 6 El gradiente de velocidad depende de la temperatura del agua

☐ F☐ V
- 7 El tiempo de retención en un floculador debe ser menor de 5 minutos

☐ F☐ V
- 8 La tasa de sedimentación, en una planta UPA, no debe exceder de $4 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{h}$

☐ F☐ V
- 9 En la floculación hidráulica no es posible variar el gradiente de velocidad

☐ F☐ V
- 10 La turbiedad del agua filtrada es deseable que no supere 0,5 NTU

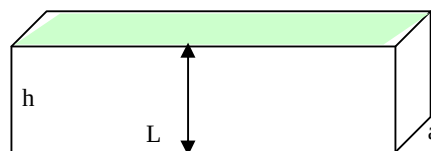
☐ F☐ V
- 11 ¿Cuál de estos productos es un desinfectante más efectivo?
a) Acido Hipocloroso ☐ b) Ión Hipoclorito ☐
- 12 Cuándo se dosifica sulfato de aluminio, aumenta el pH del agua

☐ F☐ V

13. Calcular el volumen y el área sombreada de la siguiente figura

Con los siguientes datos:

L = 10 m
a = 2 m
h = 3 m



14. Realizar las siguientes conversiones de unidades

Expresar en kg:

- a) 200 gr =
- b) 4000 gr =
- c) 50 gr =

Expresar en gr:

- a) 2,00 kg =
- b) 0,100 kg =
- c) 0,050 kg =

15. Calcular e, según la siguiente fórmula y con los datos que se indican.

$$e = \frac{(a + b)}{(c \times d)}$$

a = 13
b = 17
c = 2
d = 3

16. Si se define el tiempo de retención como el cociente entre volumen y caudal ($T=V/Q$). Para el volumen calculado en el ejercicio 1, calcular el tiempo de retención si $Q=10 \text{ m}^3/\text{h}$. Expresar el resultado en minutos.
17. Si se define la tasa de filtración como el cociente entre caudal y el área de filtración (Tasa de Filtración = Q/A). Para el área del filtro del la UPA 2 de paso Severino y un caudal de funcionamiento $Q=8 \text{ m}^3/\text{h}$ calcular la tasa de filtración.
18. Calcular D, si $D = (\text{Alc BRUTA}^* - \text{Alc COAGULADA}) \times 2$

Si Alc BRUTA = 68 ppm de CaCO_3 y Alc COAGULADA = 30 ppm de CaCO_3

19. Calcular $q = \frac{Q * D}{c}$

Si $Q = 8 \text{ m}^3/\text{h}$, $D = 90 \text{ mg/l}$ y $c = 100 \text{ g/l}$ y q se expresa en l/h.

Áreas y volúmenes de algunos cuerpos

Nombre	Figura	Volumen	Área
Cubo		$V = l^3$	$S = 6 \times l^2$
Paralelepípedo rectángulo		$V = l \times a \times h$	$S = 2(l \times a + l \times h + a \times h)$
Pirámide		$V = \frac{\text{Sup. Base} \times h}{3}$	$S = \frac{\text{Per.} \times \text{ap.}}{2} + \text{Sup. b}$
Cilindro		$V = \pi \times R^2 \times h$	$S = 2 \times \pi (R \times h + R^2)$
Cono		$V = \frac{\pi \times R^2 \times h}{3}$	$S = \pi (R \times \text{ap.} + R^2)$
Esfera		$V = \frac{4\pi \times R^3}{3}$	$S = 4 \times \pi \times R^2$
Tronco de Cono		$V = \frac{h\pi}{3} (R^2 + r^2 + Rr)$	$S = \pi(R+r)\text{ap}$

Notas:

ap. → Apotema

Per. → Perímetro

Apéndice 10

Ejercicios de apoyo al módulo 2

TURBIDEZ

- 1) El valor de uno de los estándares secundarios de Gelex es de 58,0 NTU. Esta semana, cuando realizo el control de ajuste da un valor de 55,0 NTU. ¿Es necesario ajustarlo?
- 2) Al realizar las medidas de los estándares de Gelex de un turbidímetro nuevo obtengo:

GEL DE 0-10 NTU	GEL DE 10-100 NTU	GEL DE 100-1000 NTU
4,55	44,5	790
4,60	44,7	780
4,70	45,3	785

Hallar los valores promedios para cada patrón y el intervalo de aceptación.

- 3) Los valores promedio de los tres estándares de Gelex son:

GEL DE 0-10 NTU	GEL DE 10-100 NTU	GEL DE 100-1000 NTU
4,80	54,0	785

Calcular para cada estándar de gelex el intervalo de aceptación de la ajuste.

- 4) En mi lugar de trabajo dispongo del turbidímetro del ejercicio 3. Esta semana al verificar el ajuste del mismo (turbidímetro Hach 2100P) obtengo:

GEL DE 0-10 NTU	GEL DE 10-100 NTU	GEL DE 100-1000 NTU
5,00	51,0	820

Indicar el estado del instrumento:

- a) Aceptable
- b) Hay que ajustarlo

- 5) Luego de dos meses de uso, se rompe el patrón de gelex de 0-10 NTU que empleo para realizar la verificación de ajuste. ¿Qué debo hacer?

pH

- 1) Voy a medir el pH de una muestra de agua bruta que tiene elevado color y turbiedad. En mi planta dispongo de pH-metro y escala de tubos de color. ¿Qué es lo más adecuado usar para este caso?
- 2) Una muestra que extraje esta mañana quedó justamente al sol detrás de la ventana. Para medir tengo pH-metro. ¿Qué consideraciones debo tener presente?
- 3) Al realizar el control de ajuste diario del pH el valor que obtengo para el buffer pH 7,0 es 7,4. ¿Qué hago?
- 4) En la determinación de pH con escala obtengo pH = 7,6. ¿Que colorante me conviene utilizar: el azul de bromotimol o el rojo cresol?
- 5) ¿Con qué valores de pH puedo salir de planta en el agua filtrada y clorada?

COLOR

- 1) Una muestra de agua bruta tiene un color aparente que habitualmente está en el entorno de 250 UPtCo. ¿Cuál es la dilución más adecuada para medirla, con un disco que va de 0- 70 UPtCo?
- 2) Una muestra de agua decantada la diluyo al 1/5 para determinar color aparente. La medida de la muestra diluida me da 30 UPtCo. ¿Cuál es el valor del color aparente de la muestra de agua decantada?
- 3) Para determinar color tomo 50 mL de la muestra y le agrego 100 mL de agua destilada. ¿Cuál es la dilución de la muestra? ¿Cuál es el valor por el que debo multiplicar el resultado que obtenga en el disco?
- 4) Cuándo determino color ¿qué es lo que me conviene, usar la menor dilución posible o mayores diluciones?
- 5) Para determinar color de una muestra utilizo 100 mL y llevo con agua destilada a 300 mL. El color obtenido de la muestra diluida es 40 UPtCo. ¿Cuál es el valor de color de la muestra?

CLORO RESIDUAL

- 1) ¿Cuál es el valor mínimo aceptable para el cloro residual libre al finalizar el proceso de desinfección?
- 2) ¿Qué condiciones debe cumplir el agua que va a ser sometida a desinfección?
- 3) La determinación experimental de cloro residual con pastilla Lovibond N° 1 da 0,45 ppm y con pastilla N° 4 da 1,20 ppm. Calcular cloro residual combinado.
- 4) ¿Por qué el pH del agua a desinfectar debe ser menor de 7,8?
- 5) Si el cloro residual combinado es 0,25 ppm y el cloro residual libre es 0,65 ppm ¿cuál es el valor del cloro residual total?
- 6) ¿Por qué si el cloro residual libre me da cero o próximo a cero, debo medir el cloro residual total?

ALCALINIDAD

- 1) a) ¿Cuáles son los indicadores de punto final usados para determinar alcalinidad total?
b) ¿Cuál es el viraje de color y a qué pH lo realizan?
- 2) Los reactivos utilizados en la medida de alcalinidad deben ser frescos y conservarse en perfectas condiciones.
 - a) Explicar cómo debe procederse para lograr este fin
 - b) Si el ácido sulfúrico mal cuidado se hubiera diluido, las medidas de alcalinidad serían erróneas. Explicar las consecuencias que esto acarrearía sobre el proceso de tratamiento.
- 3) Al determinar la alcalinidad total de una muestra de agua usando una toma de 50 mL, el gasto de ácido sulfúrico 0,02 N es 18,0 mL. Calcular la alcalinidad y expresarla correctamente.
- 4) ¿Por qué para determinar la alcalinidad de una muestra cuyo valor es muy bajo, debo hacer una toma de 200 mL?

Apéndice 11

Ejercicios de apoyo al módulo 3

- ¿Cuánto sulfato de aluminio debo pesar:
 - para preparar 100 lts de solución de concentración 20 g/l?
 - para preparar 250 lts de solución de concentración 40 g/l?
 - para preparar 400 lts de solución de concentración 40 g/l?
 - para preparar 2000 lts de solución de concentración 25 g/l?
 - para preparar 650 lts de solución de concentración 35 g/l?
 - Para preparar 1000 lts de solución de concentración 60 g/l?
- ¿A qué caudal debo regular la bomba dosificadora de solución de sulfato de aluminio :
 - para aplicar una dosis de 60 ppm en una planta que tiene un caudal de 15 m³/h, si la solución tiene una concentración de 40 g/l?
 - para aplicar una dosis de 90 ppm en una planta que tiene un caudal de 100 m³/h, si la solución tiene una concentración de 40 g/l?
 - para aplicar una dosis de 40 ppm en una planta que tiene un caudal de 10 m³/h, si la solución tiene una concentración de 20 g/l?
 - para aplicar una dosis de 50 ppm en una planta que tiene un caudal de 18 m³/h, si la solución tiene una concentración de 50 g/l?
 - para aplicar una dosis de 80 ppm en una planta que tiene un caudal de 20 m³/h, si la solución tiene una concentración de 80 g/l?
- Se han hecho una serie de análisis en diferentes plantas y se quiere determinar en forma estimada, utilizando un factor de 2, la dosis de sulfato de aluminio en ppm que se está aplicando en cada una de ellas de acuerdo a la depresión de alcalinidad, para ello se ha confeccionado la siguiente tabla que tu completarás los datos que faltan.

Planta	Alcalinidad de Agua bruta en ppm de Carbonato de Calcio	Alcalinidad de Agua del floculador en ppm de Carbonato de Calcio	Dosis de Sulfato en ppm	Observaciones
1	80	45		
2	250	200		
3	150	110		
4	360	200		
5	200	150		
6	220	205		

- Se han aforado las bombas dosificadoras de sulfato de aluminio en cinco plantas que procesan diferentes caudales de agua y con soluciones con diferente concentración y se han ido colocando los valores en una tabla. Calcula la dosis que se venía aplicando en cada planta y completa la tabla.

Planta	Caudal obtenido de la bomba dosificadora en litros/h	Caudal de agua tratada en m ³ /h	Concentración en g/l	Dosis Aplicada en ppm
1	15	15	50	
2	130	450	80	
3	140	100	30	
4	80	20	20	
5	55	110	40	

5. Completar la tabla

rpm óptimo obtenido en el Jar Test	Temperatura °C	rpm que debe estar una UPA 200 para tener el mismo gradiente	rpm que debe estar una UPA 2000 para tener el mismo gradiente
50	16		
60	22		
64	16		
70	16		
80	16		

6. Se desea preparar una solución de sulfato de aluminio en polvo con una concentración de 75 g/l, en un recipiente de 1000 l. utilizando toda su capacidad. ¿Cuántos Kg de sulfato hay que agregar?
7. Se desea preparar una solución de sulfato de aluminio en polvo agregando 5000 gramos en 100 litros. A qué concentración, expresada en g/l queda preparada la solución?
8. Se desea preparar una solución de sulfato de aluminio líquido con una concentración de 100 g/l, en un recipiente de 800 lt. ¿Cuántos lt de sulfato hay que agregar?
9. ¿A qué concentración queda una solución preparada con 50 litros de sulfato de aluminio líquido en 700 litros?
10. ¿Cuál debería ser el caudal de la bomba dosificadora para aplicar 140 ppm de sulfato de aluminio preparado a 50 g/l en una usina que está produciendo 280 m³/h?
11. ¿Qué dosis de ceniza de soda, preparada a 100 g/l, se está aplicando si la bomba dosificadora está erogando 40 l/h y el caudal de la usina es 300 m³/h?
12. ¿Qué dosis de ceniza de soda, preparada al 50 g/l, se está aplicando si la bomba dosificadora está erogando 40 l/h y el caudal de la usina es 300 m³/h?
13. ¿Qué caudal debería erogar la bomba dosificadora si deseo aplicar en la misma usina, la dosis del ejercicio 11 con la concentración de la solución del ejercicio 12?

Apéndice 12

Registro de Ensayo de Jarras.

Fecha		Agua Bruta		$v(ml) = \frac{D(ppm) \times V(lts)}{C(g/l)}$ v solución de sulfato de aluminio a agregar D es la dosis que queremos aplicar en la jarra dada en mililitros de solución. V volumen de agua bruta en la jarra dada en litros. C concentración de la solución dado en g/l.
Usina		Turbiedad		
Servicio		Alcalinidad		
Curso de Agua		PH		
Funcionario		Temperatura		
		Color		

	rpm	tiempo (min)
Mezcla rápida		
Floculación (Etapa 1)		
Floculación (Etapa 2)		

Observaciones	Jarra →	1	2	3	4	5	6
Reactivo 1:	Dosis en ppm						
	Volumen en ml (mililitros)						
Reactivo 2:	Dosis en ppm						
	Volumen en ml (mililitros)						
Reactivo 3:	Dosis en ppm						
	Volumen en ml (mililitros)						
Turbiedad en el agua decantada (NTU)	A los 10 minutos						
	A los 20 minutos						
Color a los 20 minutos (U Pt-Co)							
Alcalinidad (ppm de CaCO ₃)							
PH							
Agua Filtrada	Turbiedad NTU						
	Color U Pt Co						
$f = \frac{\text{Dosis Sulfato de Aluminio ppm}}{(\text{Alcalinidad agua a coagular} - \text{Alcalinidad coagulada})}$							



Administración de las Obras Sanitarias del Estado
Capacitación

Este manual es una adaptación del manual para Operadores de Plantas Modulares a todas las plantas potabilizadoras de OSE.

El manual original fue elaborado por Capacitación y Desarrollo Gerencial con los especialistas:

Ing. Danilo Ríos

Quím. Rita Caristo

Ing. Saúl Garat

Con aportes de Quím. Rosario Lavanca e Ing. Juan Ascúe

Analista de Capacitación: Prof. Daniel Pereira

En el nuevo manual participaron como especialista:

Ing. Alejandro Iriburo

Ing. Saúl Garat

Julio de 2007

En esta nueva edición colaboró

Colaboró también: Ing. Gianela Bonari e Ing. Griselda Castagnino

Analista de Capacitación: Prof. Daniel Pereira

Carátula: T/A Beatriz Erserguer

Julio de 2009

Actualizado por Ing. Alejandro Iriburo e Ing. Sofía Ormaechea

Marzo de 2013 y Mayo de 2014

Nueva caratula Sr. Marcelo Cal