



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
QUERÉTARO

FACULTAD DE  
QUIMICA

## TESINA TEORICA

*"ELIMINACION DE SOLIDOS Y GRASAS POR  
FLOCULACION CON SULFATO DE ALUMINIO"*

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**QUIMICO EN ALIMENTOS**

PRESENTA

**MA. FELICITAS HERNANDEZ GUEVARA**

QUERÉTARO, QRO., 1994

FACULTAD DE  
QUIMICA



BIBLOTECA

PROPIEDAD DE LA FACULTAD  
DE QUIMICA DE LA U. A. Q.

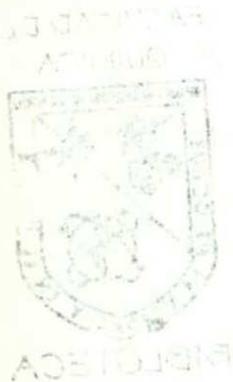
135 Ah

No. Adq. J50629

No. Titulo TS

Glas. 628.1622

H557e



## **DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS.**

**A DIOS: GRACIAS POR LA VIDA QUE ME HAS DADO, POR MIS PADRES,  
POR SU AMOR Y APOYO PARA CONSEGUIR MIS METAS.**

**A MIS HERMANOS POR SU APOYO Y AYUDA SIN ELLOS NO HUBIERA  
CONSEGUIDO MIS METAS.**

**A MIS MAESTROS QUE CON SUS ENSEÑANZAS ME BRINDARON LO  
MEJOR DE SI MISMOS.**

**POR LA DISPOSICION PARA CON ESTE TRABAJO MOSTRARON LOS  
MAESTROS:**

**Q.M. J.MERCED ESPARZA GARCIA.  
M.C. GUSTAVO PEDRAZA ABOYTES.  
I.B. GERARDO ZAVALA PORTO.**

**A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE GENERACION QUE ME BRINDARON  
LO MEJOR DE ELLOS, Y POR SU DISPOSICION EN AYUDARME.**

**A TODAS LAS PERSONAS A MI ALREDEDOR QUE DE UNA U OTRA  
MANERA, HAN SIDO IMPORTANTES PARA MI Y ME AYUDARON A  
LOGRAR UNO DE LOS OBJETIVOS DE MI VIDA.**

**FELICITAS.**

## INDICE

	págs
I. INTRODUCCION.	1
II. CARACTERISTICAS DEL AGUA.	3
2.1 Características físicas	3
2.2 Características químicas	4
2.3 Características biológicas	9
III. SELECCION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.	12
3.1 Tratamiento preliminar	13
3.2 Tratamiento primario	13
3.3 Tratamiento secundario	14
3.4 Tratamiento de lodos	14
IV. EMULSIONES.	15
4.1 Emulsiones aceite-en-agua	15
4.2 Fuentes industriales de emulsiones	16
4.3 Rompimiento de emulsiones aceite -en-agua	18
V. COAGULACION-FLOCULACION	20
5.1 Historia de la coagulación	20
5.2 Definiciones: coagulación-floculación	21
5.3 Necesidades de coagulación	21
VI. SALES DE ALUMINIO.	24
6.1 Compuestos de aluminio	24
6.2 Hidrólisis de las sales de aluminio	25

**VII. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA COAGULACION-FLOCULACION.**

**7.1 Factores de estabilidad e inestabilidad 28**

**7.2 Factores que influyen en la coagulación 30**

**7.3 Coadyuvantes de la floculación 33**

**VIII. MODO DE USO DE LAS SALES DE ALUMINIO. 39**

**8.1 Alimentación por solución 39**

**8.2 Alimentación en seco 39**

**BIBLIOGRAFIA. 41**

## INTRODUCCION

Toda comunidad produce residuos tanto líquidos como sólidos. La parte líquida, aguas residuales, procede esencialmente del agua suministrada a la comunidad después de haber sido empleada en diversos usos en donde es probable que sufra una contaminación. Desde el punto de vista de las fuentes de generación, las aguas residuales pueden definirse como una combinación de líquidos o aguas portadoras de residuos procedentes de residencias, instituciones públicas, así como de centros comerciales e industriales, a las que, eventualmente pueden agregarse aguas subterráneas, y pluviales. (8)

Así pues, la contaminación del agua es la adición a la misma de materia extraña indeseable que deteriora su calidad. La calidad del agua puede definirse como su aptitud para los usos y beneficios a que se ha venido dedicando en el pasado, esto es, para bebida del hombre y para los animales; para soporte de una vida marina sana; para riego de la tierra y para recreación. La materia extraña contaminante podrá ser, por ejemplo, materia inorgánica, como la de los compuestos de plomo o mercurio, o materia viva, como la de los microorganismos. (20)

En un agua residual no tratada, que se deje estancada durante un cierto tiempo, la descomposición de la materia orgánica que contiene puede llegar a la producción de grandes cantidades de gases de olor desagradable. Además el agua residual cruda contiene, frecuentemente, numerosos microorganismos patógenos o causantes de enfermedades que habitan en el aparato intestinal humano, o que pueden estar presentes en ciertos residuos industriales, también suelen contener nutrientes, que pueden estimular el crecimiento de plantas acuáticas y por último, puede incluir compuestos tóxicos. (8)

Por estas razones, el tratamiento y la reutilización o bien la evacuación del agua residual, no es solamente deseable sino que necesaria en una sociedad industrializada. El objetivo final del tratamiento de las aguas residuales es la protección del medio ambiente mediante el empleo de medidas adecuadas a las posibilidades e inquietudes económicas sociales y políticas. (8)

En la actualidad, los procesos para tratar las aguas residuales comúnmente constan de un tratamiento primario, un tratamiento secundario, y en ocasiones, un tratamiento terciario. El tipo y concentración a que se debe disminuir uno o más contaminantes es específico para cada caso y requiere de un análisis de las condiciones y necesidades del agua existente así como las normas reguladoras de la calidad. (8)

## CLASES DE IMPUREZAS DEL AGUA.

Resulta práctico clasificar las sustancias extrañas en el agua según el tamaño de sus partículas, porque es este tamaño el que con frecuencia condiciona la eficiencia de los diversos métodos de tratamiento; podemos dividir las partículas en tres clases: en suspensión, coloidal y en disolución .

Las partículas suspendidas son las mayores, esto es, las que tienen diámetro de aproximadamente un micrómetro. Son lo bastante grande para depositarse a velocidades razonables y ser retiradas por los filtros comunes. Son también lo suficientemente grandes para absorber luz y hacer, en esta forma, que el agua que contaminan se vea turbia y sucia.

Las partículas coloidales son tan pequeñas, que su velocidad de depósito es insignificante, y pasan a través de los poros de la mayoría de los medios filtrantes; por consiguiente, no se les puede eliminar del agua por sedimentación o filtración.

La materia disuelta no es retenida por los medios filtrantes y no enturbia el agua, inclusive si se le mira en un ángulo recto con respecto al haz de la luz. Si son eléctricamente neutras se les llama moléculas, y si llevan una carga eléctrica, se les designa como iones.

Por supuesto las sustancias extrañas pueden clasificarse con base a otras propiedades que las del tamaño de la partícula; por ejemplo, pueden ser vivas o inertes, orgánicas o minerales, radiactivas o no radiactivas, tóxicas o inofensivas, naturales o añadidas por el hombre. (14)

## II. CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.

### 2.1 CARACTERISTICAS FISICAS.

La característica física más importante de un agua de desecho es su contenido total de sólidos, el cual comprende la materia flotante, materia en suspensión, materia coloidal y materia en solución, otras características físicas importantes son la temperatura, el color, el olor y la turbiedad.

#### SOLIDOS TOTALES.

Análíticamente, el contenido de sólidos totales de un agua de desechos se define como la materia que queda como residuos después de la evaporación de 103 a 105°C. Los sólidos totales se clasifican como sólidos suspendidos y sólidos filtrables.

La fracción de sólidos suspendidos incluye los sólidos sedimentables que se sedimentarán en el fondo de un cono Imhoff en un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables son una medida aproximada de la cantidad de lodo que será removido por sedimentación.

La fracción de sólidos filtrables consiste en sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal no puede ser eliminada por sedimentación. Generalmente, después de la oxidación biológica o coagulación sigue la sedimentación.

#### TEMPERATURA.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante debido a su efecto sobre la vida acuática, las reacciones químicas, y las velocidades de reacción. Por ejemplo, los incrementos de temperatura pueden causar cambios en las especies piscícolas.

Por otro lado, el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría. El oxígeno disuelto decrece con el aumento de ésta, por lo que hay que cuidar que ciertas descargas no sobrepasen la temperatura límite. El incremento en la rapidez de las reacciones bioquímicas que suponen un incremento en la temperatura, combinada con la disminución en la cantidad de oxígeno presente en las aguas superficiales, frecuentemente causan serias disminuciones en las concentraciones de oxígeno disuelto en los meses de verano. (8), (21)

## **COLOR.**

Usualmente las aguas residuales son grises, sin embargo, a medida que los compuestos orgánicos son digeridos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el desecho se reduce a cero y el color cambia a negro. En estas condiciones, se dice que el desecho presenta condiciones sépticas. Algunos desechos industriales pueden impartirle color a los desechos domésticos. (8)

## **OLOR.**

Normalmente, los olores en un desecho son debidos a los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica. Los desechos frescos tienen un olor distintivo, algo desagradable pero menos molesto que los olores sépticos de los desechos. El olor característico de un desecho séptico es debido al sulfuro de hidrógeno producido por los microorganismos anaeróbicos, los cuales reducen los sulfatos a sulfuros. Las aguas de desecho pueden contener compuestos olorosos o capaces de producir olores en el proceso de tratamiento del agua. (8)

## **TURBIEDAD.**

El término de turbiedad se aplica a aguas que contienen materia suspendida, que interfiere con el paso de la luz a través del agua absorbiendola o dispersandola. La turbiedad es causada por una amplia variedad de materia suspendida, que varía en tamaño, de coloidal a dispersiones ordinarias. (8)

## **2.2 CARACTERISTICAS QUIMICAS.**

### **MATERIA ORGANICA.**

Los compuestos orgánicos, son combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno además de nitrógeno que puede estar presente en algunos casos. Otros elementos importantes como el azufre, fósforo o hierro también se presentan frecuentemente en las aguas residuales.

Las aguas residuales contienen pequeñas cantidades de compuestos orgánicos y sintéticos como son: surfactantes, fenoles y pesticidas agrícolas. La presencia de estas sustancias en los últimos años ha complicado los sistemas de tratamiento, debido a que gran parte de ellos no son biodegradables o son muy lentamente descompuestos por los sistemas biológicos de tratamiento. (8)

## **PROTEINAS.**

Los elementos comunes a todas las proteínas son el carbono, hidrógeno y oxígeno. Además, como característica particular, contienen una alta y constante proporción de nitrógeno, en algunos casos contiene azufre, hierro y fósforo. La urea y las proteínas son las principales fuentes de nitrógeno, que en grandes cantidades producen olores fétidos debido a su descomposición. (8)

## **CARBOHIDRATOS.**

Se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza, así como en todas las aguas de desecho. La celulosa es el carbohidrato más importante encontrado en un desecho, debido a su resistencia a la descomposición. (8)

## **GRASAS Y ACEITES.**

Las grasas y los aceites son uno de los mayores componentes de las sustancias alimenticias. Las grasas y los aceites de los desechos domésticos provienen de la manteca, mantequilla, margarina y aceites vegetales. La grasa es uno de los componentes vegetales orgánicos más estables y difíciles de biodegradar. El keroseno y aceites lubricantes son derivados del petróleo y el alquitrán de hulla, los cuales se encuentran en las aguas negras en cantidades considerables provenientes de talleres, estacionamientos y calles. Gran parte de las partículas de grasas y aceites que se encuentran en las aguas de desecho flotan formando una capa que tiende a cubrir la superficie e interfiere con la acción biológica. (8)

## **AGENTES TENSOACTIVOS.**

Los agentes tensoactivos son grandes moléculas orgánicas, ligeramente solubles en agua que causan espuma en las plantas de tratamiento, así como en las aguas que se vierten efluentes residuales. Los agentes tensoactivos tienden a acumularse en la interfase aire-agua. Durante la aereación del agua residual, estos compuestos se acumulan sobre la superficie de las burbujas de aire causando por ello una espuma muy estable.

La determinación de los agentes tensoactivos se realiza mediante el cambio de color en una solución normalizada de azul de metileno. Otro nombre con el que se reconoce a los agentes tensoactivos es el de sustancias activas al azul de metileno SAAM. (8)

## FENOLES.

Los fenoles y otros compuestos orgánicos de los que se encuentran vestigios, son también importantes constituyentes del agua. Los fenoles causan problemas de olor en la misma, especialmente cuando ésta está clorada. Se producen principalmente por operaciones industriales y aparecen en las aguas residuales que contienen desechos industriales. Los fenoles pueden ser biológicamente oxidados en concentraciones hasta de 500 mg/l. (8)

## PESTICIDAS Y PRODUCTOS QUIMICOS AGRICOLAS.

Los compuestos orgánicos que se encuentran a nivel de trazas tales como pesticidas, herbicidas y otros productos químicos usados en la agricultura, son tóxicos para gran número de formas de vida y por tanto llegan a ser peligrosos contaminantes del agua.

## MEDIDA DEL CONTENIDO ORGANICO.

En el transcurso de los años, se han ido desarrollando una serie de ensayos para determinar el contenido orgánico de las aguas residuales. Los métodos de laboratorio más usados hoy en día son el de la demanda bioquímica de oxígeno, DBO<sub>5</sub> demanda química de oxígeno, y carbón orgánico total, COT. (8)

## DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO. DBO<sub>5</sub>

El parámetro de contaminación orgánica más utilizado y aplicable a las aguas residuales y superficiales es la DBO<sub>5</sub> a los cinco días. Esta determinación supone la medida del oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de materia orgánica. La medida de la DBO<sub>5</sub> es importante en el tratamiento de aguas residuales ya que se utiliza para: 1) Determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente. 2) Determinar el tamaño de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales y 3) Medir la eficiencia de algunos sistemas de tratamiento. (8)

## DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO. DQO.

El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica e inorgánica tanto en las aguas naturales como las residuales. El equivalente de oxígeno de la materia orgánica e inorgánica que puede oxidarse se mide utilizando un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido. El dicromato de potasio resulta excelente para tal fin.

Este método se utiliza para medir la materia orgánica e inorgánica en aguas industriales y municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica. La DQO de un agua residual es, por lo general mayor que la DBO<sub>5</sub> porque es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por vía química que biológicamente. (8), (21)

### CARBONO ORGANICO TOTAL. COT.

Otra forma de medir la materia orgánica presente en el agua es el ensayo COT. Especialmente aplicable a pequeñas concentraciones de materia orgánica. El ensayo se lleva a cabo inyectando una cantidad conocida de la muestra en un horno a alta temperatura. El carbón orgánico se oxida a anhídrido carbónico en presencia de un catalizador. El anhídrido carbónico producido es medido cuantitativamente con un espectro de infrarrojo. (8)

### MATERIA INORGANICA.

Los componentes inorgánicos de las aguas naturales y de desecho son importantes para establecer y controlar la calidad del agua.

### pH.

Potencia de Hidrógeno, mide el grado de acidez y alcalinidad en el agua en una escala de 1 a 14 unidades, 7 representa la neutralidad. El menor de 7 representa acidez y mayor de 7, alcalinidad. La concentración de iones hidrógeno es un parámetro importante de calidad, tanto en las aguas naturales como en las residuales. El agua residual con una concentración adversa de ion hidrógeno es difícil de tratar por medios biológicos. (8), (21)

### CLORUROS.

La fuente natural de cloruros es por la disolución de suelos y rocas que los contienen y están en contacto con el agua, en las regiones costeras por la intrusión del agua salada. Otra fuente de cloruros es la descarga de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales en las aguas superficiales, y en lugares donde la dureza del agua es elevada. Los ablandadores aportan cantidades elevadas de cloruros. (21)

### ALCALINIDAD.

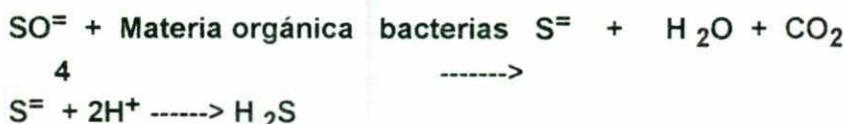
La alcalinidad en el agua residual se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos tales como calcio, magnesio, sodio, potasio. La alcalinidad se determina por titulación con un ácido normalizado; los resultados se expresan como carbonato de calcio CaCO<sub>3</sub>. (8)

## NITROGENO Y FOSFORO.

Los elementos nitrógeno y fósforo son esenciales para el crecimiento de especies fitoplacton y algunos vegetales, y como tales son conocidos como nutrientes o bioestimulantes. Trazas de otros elementos, como hierro son necesarios para el crecimiento biológico, pero el nitrógeno y el fósforo son, en la mayoría de los casos, los principales elementos nutritivos. Es necesario conocer datos de los mismo para valorar la tratabilidad de las aguas residuales domésticas e industriales mediante procesos biológicos. Cuando sean insuficientes se necesitará la adición del mismo para hacer tratable el agua. Esto significa que por cada 100 ppm de DBO<sub>5</sub> es necesario que halla 5 ppm de nitrógeno, 1 de fosforo y 0.5 de hierro. (8)

## AZUFRE.

Los sulfatos son componentes naturales de las fuentes de suministro de agua y de las aguas de desecho domésticas. Los sulfatos son reducidos químicamente por las bacterias a sulfuros y ácido sulfhídrico bajo condiciones anaerobias, como se muestra en las siguientes reacciones:



Además, el ácido sulfhídrico puede ser oxidado biológicamente a ácido sulfurico, corrosivo para las bacterias del alcantarillado. Los sulfatos son reducidos a sulfuros en los digestores de fangos y pueden alterar el proceso biológico si la concentración de sulfuros sobrepasa 200 mg/l. (8)

## COMPUESTOS TOXICOS.

La toxicidad de ciertos compuestos orgánicos, como son algunos solventes o lubricantes derivados del petróleo, o inorgánicos son de gran importancia por tener una potencialidad de peligro a la salud humana directa o indirectamente, al ser elemento acumulable en la cadena alimenticia de consumo. Debe limitarse completamente sus descargas a cualquier corriente y agua subterránea.

Las sustancias tóxicas en ocasiones inhiben los tratamientos biológicos, éstas pueden ser: metales pesados como el plomo, cromo, mercurio, cadmio, cobre, arsénico, plata, etc. Plagicidas, insecticidas, fenoles y otros. (21)

## **GASES.**

Los gases comunmente en las aguas de desechos no tratadas son nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, amoníaco y metano. Los tres primeros son gases comunes de la atmósfera y se encuentran en todas las aguas expuestas al aire, los últimos tres se originan de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas de desecho. (8)

### **OXIGENO DISUELTO. OD**

El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. La presencia de oxígeno disuelto en el agua residual es deseable para evitar la formación de olores desagradables. (8)

El oxígeno se disuelve en el agua por el contacto del aire con la superficie de la misma, hasta alcanzar un punto de saturación. A la temperatura de 0°C el punto de saturación del oxígeno disuelto es de 14.6 ppm. esta concentración disminuye al aumentar la temperatura del agua, de manera que a 15°C la concentración de saturación de oxígeno disuelto es de 10 ppm. (21)

### **SULFURO DE HIDROGENO.**

El sulfuro de hidrógeno se forma, por la descomposición de la materia orgánica que contiene azufre o por la reducción de sulfitos y sulfatos minerales. Aunque el sulfuro de hidrógeno es el gas formado más importante desde el punto de vista de los olores, pueden formarse otros compuestos volátiles, tales como el indol, escatol y mercaptanos durante la descomposición anaerobia que pueden producir olores más desagradables que el del sulfuro de hidrógeno. (8)

### **METANO.**

El principal producto que se obtiene de la descomposición anaerobia de la materia orgánica del agua residual es el gas metano. El metano es un hidrocarburo incoloro e inodoro de gran valor combustible. No se encuentra en grandes cantidades en el agua residual por que pequeñas cantidades de oxígeno tienden a ser tóxicas para los organismos responsables de la producción del metano. (8)

## **2.3 CARACTERISTICAS BIOLOGICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.**

Las aguas residuales contienen incontables microorganismos, ellos son la parte viva de la materia orgánica y su presencia es de suma importancia porque son uno de los motivos para el tratamiento de estas aguas, y el éxito de esta

operación, incluyendo la degradación y descomposición dependen de sus actividades. Se puede decir con razón que los microorganismos son los trabajadores que emplea un operador de plantas de tratamiento de agua y que su éxito puede medirse por su conocimiento y atención a sus hábitos nutritivos y ambientales.(8)

### MICROORGANISMOS PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES.

En el tratamiento de las aguas residuales resulta indispensable conocer los grupos principales de microorganismos que se encuentran en las aguas residuales, y cuales de ellos son patógenos, cuales intervienen en el tratamiento biológico y cuales se utilizan como indicadores de contaminación.

Comunmente, las aguas residuales presentan bacterias, hongos, y ocasionalmente protozoarios, así como virus y quistes.

Las bacterias son microorganismos unicelulares más primitivos, son abundantísimos en la naturaleza, las hay patógenas, saprofíticas y simbióticas, y son los elementos más representativos de las aguas residuales domésticas. Las bacterias son organismos sumamente susceptibles a los tratamientos de desinfección.

Las bacterias juegan un papel fundamental en la descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en la naturaleza como en las plantas de tratamiento.

Los organismos patógenos encontrados en el agua residual pueden proceder de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una enfermedad determinada. Los patógenos bacterianos más comunes en el agua son: *Salmonella typhosa*, *Shigella dysenteriae* y *Vibrio comma*.

La presencia de las bacterias coliformes se utiliza como un indicador de contaminación producida por desechos humanos y por lo tanto de organismos patógenos.

Los virus conocidos hasta hoy, son todos causantes de enfermedades, comunmente son parásitos patógenos altamente específicos.

Los virus excretados por los humanos pueden llegar a ser un peligro importante para la salud pública.

Cierto número de brotes de hepatitis infecciosa han sido atribuidos a la transmisión de virus a través del suministro normal de agua.

Los hongos comunmente son saprófagos, sin embargo, también los hay

patógenos, aunque son pocos los que atacan al hombre y a los animales domésticos, la naturaleza química del protoplasma hace difícil el control por tratamientos químicos. La presencia de hongos en las aguas negras es ocasional ya que estos organismos son aerobios estrictos.

Los protozoarios patógenos más comunes y de importancia sanitaria son *Endamoeba histolytica* amibiasis, *Trypanosoma* y *Plasmodium*. (8)

### III. SELECCION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.

Por lo general, las aguas de desecho industrial contienen materia mineral suspendida, coloidal y disuelta, así como sólidos orgánicos. Además pueden ser excesivamente ácidas o alcalinas y tener alta o baja concentración de materias coloridas, contener compuestos tóxicos y posiblemente bacterias patógenas.

El grado de tratamiento que requiere un desecho industrial, depende de la dilución y características estabilizadoras de la corriente receptora. La cantidad y concentración de los contaminantes debe quedar reducida al mínimo en la planta industrial.

A continuación se presenta un resumen de las combinaciones de procesos de tratamiento que se usan comunmente para tratar desechos industriales. (8)

1. Eliminación de los sólidos suspendidos de tamaño apreciable por medio de cribado y sedimentación.

2. Eliminación de grasas y aceites, por medio de flotación y desnatado, auxiliándose en algunos casos, por tratamiento químico.

3. Eliminación de sólidos coloidales por floculación con coagulantes químicos y electrolitos, seguida de sedimentación o incluso filtración.

4. Neutralización de la acidez o alcalinidad excesivas, por adición de productos químicos.

5. Eliminación o estabilización de los sólidos disueltos mediante precipitación química, permutación iónica, procesos biológicos, o sus combinaciones.

6. Decoloración por tratamiento químico con sedimentación o filtración o con ambas.

7. Reoxidación de los desechos por aereación.

8. Disminución de la temperatura de los desechos excesivamente calientes, por enfriamiento. (8)

A pesar de ser muchos los métodos utilizados para el tratamiento de las aguas residuales, todos pueden incluirse dentro de los procesos siguientes: 1) Tratamiento preliminar, 2) Tratamiento primario, 3) Tratamiento secundario, 4) Cloración, 5) Tratamiento de lodos.

### 3.1 TRATAMIENTO PRELIMINAR.

En la mayoría de las plantas, el tratamiento preliminar sirve para proteger el equipo de bombeo y hacer más fáciles los procesos subsecuentes del tratamiento. Los dispositivos del tratamiento preliminar están destinados a eliminar o separar los sólidos mayores o flotantes, a eliminar los sólidos inorgánicos pesados y cantidades excesivas de aceites o grasas, se emplean comunmente los siguientes dispositivos: 1) Rejas de barras o más finas, 2) Desmenuzadores, ya sean molinos, cortadoras o trituradoras, 3) Desarenadores y 4) Tanques de pre-aereación. (8)

### 3.2 TRATAMIENTO PRIMARIO.

Por este tratamiento se separan o eliminan la mayoría de los sólidos suspendidos en las aguas residuales, o sea aproximadamente de 40 a 60%, mediante el proceso físico de asentamiento en tanques de sedimentación. Cuando se agregan ciertos productos químicos en los tanques primarios, se eliminan casi todos los sólidos coloidales así como los sedimentables, o sea un total de 80 a 90% de los sólidos suspendidos. (8)

### 3.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO.

Este tratamiento debe hacerse cuando las aguas residuales todavía contienen, después del tratamiento primario, más sólidos orgánicos en suspensión o en solución que los que pueden ser asimilados por las aguas residuales sin oponerse a su uso normal adecuado. El tratamiento secundario depende principalmente de los organismos aerobios, para la descomposición de los sólidos orgánicos hasta transformarlos en sólidos inorgánicos o sólidos orgánicos estables. Los dispositivos que se usan para el tratamiento secundario pueden dividirse en: 1) Cultivos fijos y 2) Cultivos en suspensión, los cuales a su vez pueden ser aerobios o anaerobios. (8)

Cultivos fijos.- Son aquellos en que los microorganismos, están fijados a un medio inerte tal como piedras, escorias, o materiales cerámicos y plásticos especialmente diseñados. Los procesos de cultivo fijo se conocen también como procesos de película fija.

Proceso de cultivo en suspensión.- Son los procesos de tratamiento biológico en los que los microorganismos, responsables de la conversión de la materia orgánica a otros constituyentes en el agua residual en gases y tejido celular, se mantienen en suspensión dentro del líquido. (8)

## CLORACION.

Generalmente se aplica cloro a las aguas residuales con los siguientes propósitos: Desinfección o destrucción de organismos patógenos, prevención de la descomposición de las aguas residuales para controlar el olor y/o proteger a las estructuras de la planta, como auxiliar para la sedimentación, en los filtros goteadores, el abultamiento de los lodos activos y ajuste o abatimiento de la demanda bioquímica de oxígeno. (8)

### 3.4 TRATAMIENTO DE LOS LODOS.

Los lodos de las aguas residuales están constituidos por los sólidos que se eliminan en las unidades de tratamiento primario y secundario, junto con el agua que se separa de ellos, generalmente es necesario tratarlos en alguna forma para disponer de ellos sin originar condiciones inconvenientes.

Este tratamiento tiene dos objetivos, siendo el primero eliminar parcialmente o totalmente el agua que contiene los lodos, para eliminar su volumen en fuerte proporción y, en segundo lugar, para que se descompongan todos los sólidos orgánicos putrescibles transformándose en sólidos minerales o sólidos orgánicos relativamente estables.

Esto se logra con la combinación de dos o más de los métodos siguientes: 1) Espesamiento, 2) Digestión con o sin aplicación de calor, 3) Secado en lechos de arena, cubiertos o descubiertos, 4) Acondicionamiento con productos químicos, 5) Filtración al vacío, 6) Secado aplicando calor, 7) Incineración, 8) Oxidación húmeda, 9) Centrifugación. (8)

## IV. EMULSIONES.

Una emulsión es una mezcla íntima de dos fases líquidas, tales como aceite y agua, en la cual una de ellas está dispersa en la otra.

Cuando una sustancia esta dispersa en el seno de otra de tal forma que sus partículas tienen un tamaño aparente del orden de 1 a 100 o 200 X 10<sup>-6</sup> cm. se dice que está en condición coloidal. Las partículas dispersas son tan pequeñas que no se sedimentaran bajo la acción de la gravedad. Por lo que es necesario romper ésta emulsión empleando métodos químicos, electrolíticos o físicos. Al rompimiento de la emulsión también se le llama resolución, ya que su resultado es la separación en sus partes de la mezcla original. Por lo común se emplean productos químicos en el tratamiento. Al romper las emulsiones deberán neutralizarse los factores estabilizantes.

Se neutralizan las cargas eléctricas acumuladas sobre las gotas emulsificadas introduciendo una carga eléctrica de signo opuesto a la de la gota.

Los rompedores químicos de emulsión, suministran ésta carga de signo opuesto. Las características dieléctricas del agua y las del aceite hacen que las gotas emulsificadas de aceite porten cargas negativas.

En consecuencia, para desestabilizar una emulsión aceite-en agua, debe emplearse un desemulsificante catiónico de carga positiva. (4), (16)

### 4.1 EMULSIONES ACEITE- EN-AGUA.

Una emulsión de desecho aceitoso, en la cual el aceite está disperso en la fase acuosa, puede contener cualquiera de los diferentes tipos de aceite dentro de un intervalo grande de concentración. Estos aceites se definen como sustancias que pueden extraerse del agua mediante hexano, tetracloruro de carbono, cloroformo o freón. Además de los aceites los contaminantes típicos de estas emulsiones son: sólidos, limo, partículas metálicas, emulsificadores, limpiadores, jabones, solventes y otros residuos. Los tipos de aceite que se encuentran en estas emulsiones dependerán de la industria, y pueden ser grasa, lubricantes, fluidos para corte, hidrocarburos pesados como alquitrán, petróleo y aceites diesel, y también hidrocarburos ligeros incluyendo gasolina, kerosene y combustible de aviones a reacción. Su concentración en el agua de desecho puede variar desde unas pocas partes por millón hasta entre el 5 y 10% en volumen.

Una emulsión de aceite en agua estable es un sistema coloidal de gotas de

aceite electricamente cargadas rodeadas por un ambiente iónico. El mezclado violento y el cizallamiento de aguas aceitosas de desecho en las bombas de transferencia dispersa estas diminutas gotas de aceite a través del agua. La estabilidad de la emulsión se mantiene mediante una combinación de mecanismos físicos y químicos el comportamiento de estas emulsiones es semejante a los sistemas coloidales encontrados en los pantanos color y en los ríos limo. (4), (16)

#### 4.2 FUENTES INDUSTRIALES DE EMULSIONES.

En una fuente industrial que emplea aceites y agua de procesamiento, es posible que se formen emulsiones en cualquier punto de su sistema. Las tres industrias principales que producen desechos aceitosos son: refinación del petróleo, manufactura y maquinado de metales y procesamiento de alimentos. (4), (16)

#### INDUSTRIA DE PROCESAMIENTO DE HIDROCARBUROS.

Las operaciones de refinación del petróleo generan emulsiones tanto de aceite-en-agua, AC/AG, como agua-en aceite, AG/AC, presentes en el agua de drenado, derrames, natas de los separadores, fondos de los tanques y diversas trampas de recuperación de aceite.

En la industria petroquímica, las aguas de enfriamiento generadas en las operaciones de manufactura del etileno, y de otras oleofinas, pueden contener mezclas de hidrocarburos pesados, medios y ligeros.

En el procesamiento del petróleo, la desalazón es el paso inicial para eliminar las sales corrosivas llevadas por el aceite. En la desalazón se mezcla agua con petróleo para quitarle dichas sales. Esto forma una emulsión de agua-en aceite que se resuelve en un dispositivo electrostático, y con un producto químico desemulsificante. Sin embargo con frecuencia no se resuelve toda la emulsión, y debe separarse todo el residuo para tratarse posteriormente. (16)

#### INDUSTRIA DE METALES BASICOS

Los desechos aceitosos generados en las acerías comprenden tanto aceites emulsificados como no emulsificados, o flotantes. Los desechos aceitosos de las plantas de laminado en caliente contienen principalmente fluidos lubricantes y de compresión hidráulica. Los desechos de operaciones de laminación en frío contienen aceites de laminación que se emplean para lubricar la lámina de acero y reducir el orín. Las emulsiones aceite-en-agua se rocían sobre el metal durante el laminado para actuar como líquido refrigerante.

El tratamiento del aceite de desecho en la industria primaria de metales es por lo común más complicado que en una refinería. Los programas de tratamiento químico para romper la emulsión requieren la adición de ácidos para disolver los polvos metálicos finos. En el tratamiento intermitente de estas emulsiones, es importante que el producto químico se mezcle perfectamente en la emulsión y que se aplique calor a lo largo de las etapas de tratamiento y asentamiento. Después del periodo de asentamiento puede disponerse de las capas de sólidos y de agua como se hace en el caso de las capas de trapos en las refinerías. La capa de aceite es de alta calidad y puede ser adecuada para usarla como mezcla de combustible para caldera o puede venderse a un refinador o un recuperador de aceite. (16)

### **INDUSTRIAS AUTOMOTRICES Y DE MAQUINADO.**

Las plantas de metalistería y de manufactura de partes metálicas generan corrientes de desechos que contienen aceites lubricantes y de corte, compuestos para el doblado y la eliminación de rebabas, fluidos para molienda y otros fluidos especiales. El agua de desecho generada en estas plantas contiene muy diversos aceites y agentes activos de superficie, de manera que requieren de un tratamiento complejo. (16)

### **PROCESAMIENTO DE CARNE Y DE ALIMENTOS.**

Las empacadoras de carne, cremerías, panaderías, cervecerías y enlatadoras generan emulsiones que contienen grasas naturales y aceites del procesamiento de animales, y aceites de manufactura de empaques y envases. Estas operaciones se presentan bajo las mismas premisas y pueden mezclarse las corrientes de desecho.

### **TEXTILES.**

Las aguas de desechos de las plantas de manufactura del algodón y la lana contienen aceites y grasas provenientes de las operaciones de limpieza, desacolado y acabado. El agua de desecho aceitosa en la industria de las fibras sintéticas se producen durante el desaprestado y la limpieza. Los aceites de acabado se emplean para reducir la fricción y el enredamiento de las fibras sobre las máquinas de hilar. Estos tipos de aceite también se pueden asociar con los aceites para lubricar las máquinas en el agua de desecho aceitosa de la planta. (16)

### **INDUSTRIAS MISCELANEAS.**

Otras muchas industrias tienen procesos que pueden generar aceite o agua de desecho aceitosa, como las pinturas, recubrimientos de superficie y

adhesivos; aceites, grasas y ceras; jabones y detergentes; tintes y la industria del cuero. Todas tienen problemas potenciales de emulsiones que pueden resolver por alguna o algunas de las técnicas rompedoras de emulsiones.

Las aguas de desecho de estas plantas tienen por lo común una gran diversidad de contaminantes. (16)

#### 4.3 ROMPIMIENTO DE EMULSIONES ACEITE-EN- AGUA.

Pueden romperse las emulsiones empleando métodos químicos, electrolíticos o físicos. Al rompimiento de una emulsión también se le llama resolución, ya que su resultado es la separación en sus partes de la mezcla original. Se emplean productos químicos en el tratamiento de aguas de desecho aceitosas y también se emplean para acrecentar el tratamiento mecánico.

Al romper emulsiones, deberán neutralizarse los factores estabilizantes. Se neutralizan las cargas eléctricas acumuladas sobre las gotas emulsificadas introduciendo una carga eléctrica de signo opuesto a la del aceite emulsificado. Los rompedores químicos de emulsiones suministran esta carga de signo opuesto. Las características dieléctricas del agua y las del aceite hacen que las gotas emulsificadas de aceite porten cargas negativas. En consecuencia, para desestabilizar una emulsión aceite-en-agua, debe emplearse un desemulsificante catiónico, de carga positiva.

La resolución de una emulsión AC/AG debe producir una capa de aceite y una capa de agua, sin embargo es infrecuente lograr una resolución tan clara; a menudo hay una espuma, llamada trapo, en la entrada, donde se colectan los sólidos y el emulsificador neutralizado.

El tratamiento de un agua de desecho aceitosa es dividido por lo común en dos pasos.

1. Coagulación. Es la cancelación de las propiedades emulsificadores del agente activo de superficie o la neutralización de las gotas de aceite cargadas.

2. Floculación. Es la aglomeración de las gotas neutralizadas en glóbulos grandes, que pueden separarse.

Es tradicional el empleo de ácido sulfúrico en las plantas de tratamiento de agua de desecho aceitosa como el primer paso en el rompimiento de la emulsión. El ácido convierte al ión carboxilo del agente de superficie en ácido carboxílico, permitiendo que se aglomeren las gotas de aceite. Agentes químicos coagulantes como las sales de hierro o de aluminio, pueden ocupar el lugar del ácido con la ventaja adicional de que son auxiliares en la aglomeración de las gotas de aceite.

Sin embargo, son difíciles de desecar los lodos de hidróxido formados por el aluminio o el hierro. En general, los ácidos son rompedores de emulsiones más efectivos que las sales coagulantes, pero el agua de desecho ácida debe neutralizarse después de la separación aceite/agua.

Entre los desemulsificadores, los orgánicos son en grado extremo efectivos, ya que se producen resultados más firmes y una calidad mayor del efluente que un programa inorgánico. En muchas plantas de tratamiento tradicional con alumbre, han sido reemplazados por rompedores orgánicos. Además de producir un efluente de mayor calidad, la dosificación del rompedor de emulsiones orgánicas es mayor que en el tratamiento inorgánico correspondiente. Los rompedores orgánicos de emulsiones reducen en un 50 a 74% la cantidad de lodo generado en un programa de tratamiento tradicional. (16), (17)

## V COAGULACION-FLOCULACION.

### 5.1 HISTORIA DE LA COAGULACION.

El sulfato de alumina, que es el coagulante que más se emplea hoy; también se empleaba hace muchos siglos, ya que los egipcios de acaso dos mil años antes de Jesucristo ya lo conocían. No obstante la primera noticia histórica que tenemos de su empleo como coagulante en el acondicionamiento de aguas se debe a Plinio, año 77 de nuestra era, que descubrió el empleo de la cal, cal de Rodas y de sulfato de aluminio, argilla de Italia, para convertir las aguas amargas en potables. (16)

Hacia el año 1767 la gente del pueblo, en Inglaterra, transformaba las aguas fangosas añadiendo de 100 a 200 mg de sulfato de aluminio por litro, dejando que se efectuase la floculación y filtrando después la capa sobrenadante.

Aunque el empleo de la coagulación para acelerar la sedimentación y filtración de los suministros de agua doméstica y de pequeñas industrias se venía practicando desde tiempos muy remotos, en las grandes plantas industriales no se inició hasta principios del siglo XIX. La primera vez que se recurrió a la coagulación para el tratamiento de suministros municipales de agua fue en el año 1881, en Bolton Inglaterra. En aquella instalación se añadían 21 mg. de sulfato de aluminio por litro en el punto de toma del abastecimiento. A partir de 1885 la coagulación se empleaba extremadamente como paso previo a la filtración rápida con arena. Por consiguiente, después de tantos siglos en el que se empleaba por separado, la coagulación y filtración se combinan definitivamente.

En 1884 se concedió la primera patente sobre coagulación a Isaiah Smith Hyatt, quien haciendo eco de una sugerencia del coronel L. H. Gardner, superintendente de la compañía de agua de Nueva Orleans, describió el empleo del percloruro de hierro como coagulante en un sistema de filtración rápida con arena para el tratamiento de una agua turbia. Cuando un año más tarde, la compañía Sommerville y Raritan Water, de New Jersey, adoptó el sistema de coagulación-filtración de Hyatt, la coagulación como coadyuvante de la filtración rápida adquirió la categoría de tratamiento a escala industrial.

Después de ensayar un gran número de sales, los autores llegaron a la conclusión de que ninguna de ellas ofrecía las ventajas del sulfato de alumina. En el periodo de 1895 a 1897, George Warren Fuller y sus asociados realizaron, en

Louisville, Kentucky, diversos e importantes experimentos en las aguas turbias del río Ohio, en la que ensayaron una serie de coagulantes: alumbre o sulfato básico de alumina, alumbre de potasa o de cal, de todos ellos el alumbre se reveló como el más adecuado.

Se han investigado y propuesto como posibles coagulantes otros metales susceptibles de producir un flóculo de hidróxido. Aunque se estudiaron tanto el cianato de sodio como las sales de titanio, se ha comprobado que no poseen ninguna ventaja con respecto al alumbre, por lo que han pasado de la categoría de curiosidades del laboratorio, ya que no se emplean en absoluto en el tratamiento de aguas. (6)

## 5.2 DEFINICIONES: COAGULACION Y FLOCULACION.

Los procesos de coagulación y de floculación se emplean para extraer del agua los sólidos que en ella se encuentran suspendidos siempre que su rapidez natural de asentamiento sea demasiado baja para proporcionar clarificación efectiva. La clarificación del agua, el ablandamiento con cal, el espesamiento del lodo y el desecamiento, dependen de una correcta aplicación de las teorías de la coagulación y la floculación para que puedan efectuarse con éxito. (15), (16)

En la práctica del tratamiento del agua, el término coagulante indican un agente agregado al agua para facilitar el asentamiento de materias coloidales o finamente desmenuzadas que se encuentran en suspensión. La coagulación como proceso de tratamiento denota la serie de operaciones químicas y mecánicas por las cuales se aplican los coagulantes. La coagulación comprende dos fases: La mezcla, durante la cual el coagulante disuelto se dispersa rápidamente en el agua mediante fuerte agitación, para destruir la estabilidad del sistema coloidal. Para que las partículas se aglomeren deben chocar, y el mezclado promueve la colisión. Un mezclado de gran intensidad, que distribuya al coagulante y promueva colisiones rápidas, es de lo más efectivo. También son importantes en la coagulación la frecuencia y el número de colisiones entre las partículas.

En la floculación la agitación del agua a velocidad más baja durante un tiempo mucho más largo, durante el cual las partículas muy pequeñas crecen, se unen y se aglomeran en flóculos o copos hidratados bien definidos con un tamaño suficiente para asentarse fácilmente.

El agua que contiene material suspendido, tanto sólidos, que pueden asentarse como partículas lo bastante grandes que se asientan en reposo, o sólidos dispersados que no se asentarán con facilidad. Una parte considerable de estos sólidos pueden ser coloides. Cada partícula se encuentra estabilizada por cargas eléctricas negativas sobre su superficie, haciendo que repela las partículas vecinas, como se repelen mutuamente dos polos magnéticos. Ya que esto impide el

choque de las partículas y que formen así masas mayores, llamadas flóculos. La coagulación desestabiliza estos coloides al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados. Esto se logra por lo general, añadiendo coagulantes químicos y aplicando energía de mezclado. El proceso de desestabilización es la coagulación, neutralización de las cargas; la etapa de la formación de flóculos es la floculación. (15), (16)

Las partículas floculadas se reúnen en una red, formando puentes de una superficie a otra y enlazando las partículas individuales en aglomerados. La floculación es estimulada por un mezclado lento que junta poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. (16), (18)

### 5.3 NECESIDAD DE LA COAGULACION.

La necesidad de dicho tratamiento aumenta constantemente debido al desarrollo industrial y al crecimiento acelerado de la población del mundo. Los elementos más gruesos como arena y el limo, pueden eliminarse del agua recurriendo simplemente a la sedimentación. No obstante, como las partículas más finas no se sedimentarán en un tiempo razonable, es preciso flocularlas para obtener otras mayores que sean susceptibles de sedimentarse en poco tiempo.

Ciertas sustancias producen color, que no debe confundirse con turbiedad, están constituida o bien por hidróxidos metálicos coloidales o por compuestos orgánicos de un tamaño de partícula mucho menor. Estas sustancias también pueden separarse por coagulación, ya que ésta permite aglomerar las partículas muy finas hasta que alcancen tamaños que son sedimentables o susceptibles de eliminarse por filtración. (6)

Por consiguiente, se ha dedicado más atención al empleo de la coagulación en la eliminación de los materiales coloidales, aunque en el transcurso de este proceso también se separan partículas mayores.

Una característica distintiva de las partículas de dimensiones coloidales es la relación del área superficial a la masa, propiedad que se evidencia claramente en la tabla siguiente:

**TABLA 1. EFECTO DEL TAMAÑO DECRECIENTE DE LAS ESFERAS.**

Diámetro de las partículas, mm.	Orden de tamaño	Area superficial total *	Tiempo necesario para la sedimentación
10	Grava	3.142 cm	0.3 seg.
1	Arena gruesa	31.420 cm	3.0 seg.
0.1	Arena fina	314.200 cm	38.0 seg.
0.01	Limo	0.310 m	33.0 min.
0.001	Bacterias	3.140 m	55.0 hrs.
0.0001	Part.coloidales	3.170 m	230.0 días
0.00001	"	2.823 m	6.3 años.
0.000001	"	28.328 m	63 años (mínimo)

\* Superficies para partículas del tamaño indicado producidas a partir de una partícula de 10 mm de diámetro y una densidad 2.65. (6)

## VI SALES DE ALUMINIO.

### 6.1 COMPUESTOS DE ALUMINIO.

El sulfato de aluminio, alumbre de filtros se usa más extensamente en tratamientos de agua que cualquier otro coagulante hasta ahora conocido. (7)

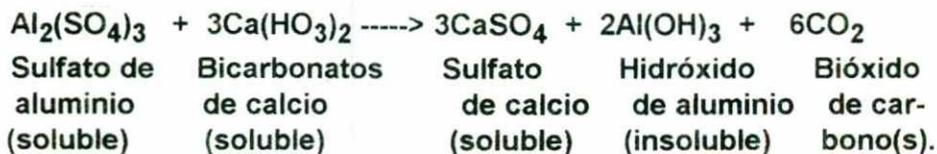
#### ALUMBRE DE FILTROS.

El alumbre en la forma que generalmente se utiliza tiene una fórmula química de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$  y puede obtenerse en forma ácida o básica. El producto puro contiene 15.3% de óxido de aluminio. El alumbre se aplica al agua mediante una variedad de equipos, ya sea en forma seca o después de ser disuelto. Cuando se incorpora en seco, debe encontrarse en forma de polvo o gránulos y debe ponerse en solución antes de ser mezclado con el agua por tratar. (7)

Cuando se incorpora en solución, se prepara una solución base concentrada y se dosifica mediante un dispositivo medidor en proporción al volumen del agua que requiere tratamiento.

Aún cuando el alumbre es bastante soluble, es preferible calentar el agua para disolverlo y agitar con objeto de acelerar su disolución. (7)

Si la alcalinidad del agua se debe a bicarbonatos de calcio, se llevará a cabo la siguiente reacción:

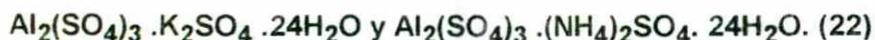


#### ALUMBRE DE AMONIO Y POTASIO.

Estos coagulantes no se utilizan extensamente en grandes plantas de tratamiento, pero se emplean principalmente en "tanques de alumbre" en los que el coagulante se disuelve en un tanque a presión y la solución así formada se in-

yecta al agua por tratar. Este tipo de equipo se emplea en la operación de filtros a presión.

Las fórmulas para estos compuestos son:

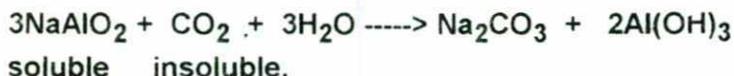


### ALUMINATO DE SODIO.

El aluminato de sodio se emplea con regularidad como coagulante. Este material se vende en forma líquida o como polvo. Los sólidos presentes en este producto son aluminato de sodio, carbonato de sodio, sosa cáustica y materia orgánica. El aluminato de sodio es un útil coadyuvante para coagular ciertos sólidos suspendidos cuando se aplica junto con sulfato de aluminio.

El aluminato de sodio contiene aproximadamente 88% de  $\text{NaAlO}_2$  siendo el resto de los constituyentes presentes sales de sodio, principalmente carbonato e hidróxido de sódico. (7)

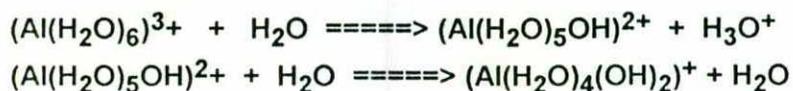
Las reacciones químicas del sulfato de aluminio y el aluminato de sodio al agregarse al agua, son:



(7).

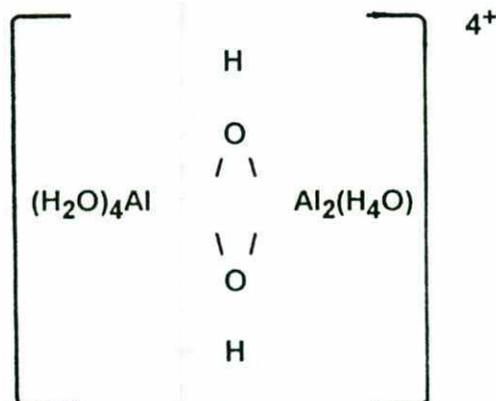
### 6.2 HIDROLISIS DE LAS SALES DE ALUMINIO.

Cuando una sal de aluminio se añade al agua se desencadena una serie de reacciones con dicha agua, o con otros iones presentes en las aguas, de acuerdo con un proceso que, en términos generales, se conoce como hidrólisis. En la actualidad, la opinión más generalizada, que se apoya en la evidencia teórica y experimental, es que los iones de aluminio que se añaden al agua intervienen casi instantáneamente en una serie de reacciones hidrolíticas con ésta, para formar una serie de sustancias de tipo hidróxido de cargas multivalentes en función del pH estos compuestos pueden ser positivos, cuando los valores del pH son bajos, y negativos, cuando dichos valores son marcadamente básicos. Estas reacciones pueden representarse como a continuación se indica:

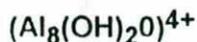


Esta reacción prosigue hasta que se forma la sustancia neutra  $(\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{OH})_3)$  u otra de carga negativa  $(\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{OH})_4)^-$ .

Sin embargo, la evidencia más reciente parece indicar que las sustancias monómeras, compuestos que tan sólo contienen un ion aluminio, son, en el mejor de los casos, transitorias y que un segundo tipo de reacción, llamada "oleación", es la más importante en el proceso de coagulación. En el proceso de oleación se registra una serie de reacciones de polimerización que dan lugar a la forma de complejos que contienen varios iones de aluminio unidos por dos grupos de iones hidroxilo. A continuación se presenta el modelo de un complejo sencillo que contienen dos iones de aluminio:



Se ha sugerido que el complejo más importante que se obtiene en la coagulación del aluminio en concentraciones bajas es uno de tipo polinuclear, que contienen ocho iones de aluminio que llevan una carga tetrapositiva y que se da de la siguiente forma:



Uno de los aspectos significativos que el estudio de estas reacciones pone en evidencia es que los iones de hidróxidos e hidrógeno están involucrados en las mismas; por tanto, el pH desempeña un papel importante en la coagulación.

El pH del agua es de vital importancia para establecer la carga media de los productos de la hidrólisis y, por consiguiente, es significativo en la determinación de la velocidad de la coagulación. Además del pH, la composición química

del agua también influye sobre la especie de complejo que se obtienen, ya que cabe la posibilidad de que otros iones negativos distintos al hidróxido, especialmente los iones di y trivalentes, entren a formar parte del complejo y modifique sus propiedades de modo significativo. En presencia de sulfato cabe la posibilidad de que uno o más iones sulfato sustituyan a los iones de hidróxido.



En este caso, el ion sulfato divalente ha desplazado a dos iones hidróxido para formar un complejo monopositivo de aluminio. (5), (6)

## VII FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA COAGULACION-FLOCULACION.

### 7.1 FACTORES DE ESTABILIDAD E INESTABILIDAD.

Es preciso considerar los factores que determinan que las partículas permanezcan en suspensión, así como también aquéllos que producen la coagulación. Estos factores se describen con los términos "estabilidad e inestabilidad" de las suspensiones coloidales. Por estabilidad se entiende la propiedad inherente de las partículas coloidales a permanecer en dispersión en el transcurso del tiempo, mientras que por inestabilidad se expresa la tendencia de dichas partículas a coagularse, siempre que estén en contacto entre sí. Se han propuesto dos teorías generales para explicar los mecanismos involucrados en este fenómeno. La teoría más antigua, química, parte del supuesto de que los coloides adquieren cargas eléctricas superficiales mediante la ionización de grupos químicos existentes en su superficie, y que la coagulación o desestabilización es el resultado de interacciones químicas entre las partículas del coloide y el coagulante. Por otra parte, la teoría física, acentúa algunos factores físicos, como la doble capa eléctrica y la adsorción contra iónica, en la que la desestabilización es el resultado de la reducción de algunas fuerzas, como el potencial zeta. (6)

### FUERZAS DE ESTABILIDAD.

En los sistemas de coloides hidrófilos el mantenimiento de la estabilidad se debe al fenómeno de hidratación, que determinan que las moléculas de agua sean atraídas hacia la superficie de las partículas para formar una barrera que impide el contacto entre éstas.

La estabilidad de las partículas hidrófobas se debe, en gran parte, al fenómeno de la doble capa eléctrica, que es como se denomina a la superficie de partículas cargadas rodeadas de una capa de iones de carga opuesta a la de dicha superficie .

En principio, se puede formar una capa eléctrica doble en la interface situado entre un medio acuoso y otro no acuoso, mediante la suposición de una carga electrostática neta, ya sea positiva o negativa, por un lado de la interface, y a través de la creación de una capa difusa en la fase acuosa mediante un número equivalente de iones contraiones, de carga opuesta. Se observan capas dobles de esta clase en la superficie de precipitados, suspensiones y emulsiones. Estas capas tienen gran influencia sobre la estabilidad de los coloides.

El potencial zeta es interesante e importante porque está relacionado con la estabilidad de las partículas, y los valores aproximados del mismo se pueden calcular a partir de movilidades electroforéticas.(6)

Para coloides en fuentes de agua natural con pH de 5 a 8, el potencial zeta se encuentra entre -14 y -30 milivolts; cuando más negativo sea el número, tanto mayor será la carga de la partícula. A medida que disminuye el potencial zeta, las partículas pueden aproximarse cada vez más aumentando la posibilidad de una colisión.

En un sistema con un pH de 6 a 8 unidades, los coagulantes proporcionan las cargas positivas para reducir la magnitud del potencial zeta.

La coagulación se presenta a un potencial zeta que es aun ligeramente negativo, de manera que por lo general no se requiere que la carga sea neutralizada por completo. Si se añade demasiado coagulante, la superficie de la partícula se cargará positivamente, a un potencial de zeta positivo, y la partícula volverá a dispersarse. (9), (16)

#### FUERZAS DE INESTABILIDAD.

Mientras que los fenómenos de formación de capa doble contribuyen a la estabilidad de las partículas coloidales, existen fuerzas que trabajan en sentido opuesto, determinando que las partículas se desestabilicen o coagulen. Uno de los factores que suele considerarse como decisivo en la inestabilidad de las partículas coloidales es el movimiento Browniano. La energía se traduce en este movimiento de las partículas se obtiene de colisiones con las moléculas del agua, y está relacionada directamente con la temperatura, ya que a medida que ésta se eleva también crece la cantidad de energía. Como las partículas se bombardean de todas direcciones, ello se traduce en un movimiento rápido y al azar de todos los coloides. Aunque esta traslocación de partículas contribuye a la inestabilidad de la suspensión coloidal, aumentando la posibilidad de las colisiones entre las partículas, por otra parte estos contactos no darán lugar a un número suficiente de iones a menos que los coloides ya se hayan desestabilizado. Es más en el caso de las partículas más grandes el movimiento Browniano llega a ser despreciable. Un modo mucho más eficaz de fomentar las colisiones entre las partículas es el de establecer gradientes hidráulicos, recurriendo a la mezcla o creando zonas de turbulencia.

Otras fuerzas de atracción entre las partículas y que, en definitiva, provoca la inestabilidad son fuerzas de London-Van der Waals. Esta puede describirse como una fuerza atómica cohesiva que existe entre todos los átomos, ya que, en conjunto, cada uno de ellos atrae a todos los demás.

Estas fuerzas son responsables para la agregación de muchos sistemas coloidales. Su magnitud depende de la clase de átomos que componen las partículas coloidales y la densidad de las mismas. Todo lo contrario de las fuerzas repulsivas, cuya magnitud es esencialmente independiente de la composición, de

la fase acuosa. Estas fuerzas atractivas entre dos partículas disminuyen al aumentar la distancia de separación entre las mismas. (6)

### **RESUMEN DE FUERZAS.**

Las fuerzas que tienden a mantener a las partículas separadas y, en consecuencia, dan lugar a suspensiones coloidales estables, son la hidratación que resulta en una envoltura protectora de moléculas de agua, y la doble capa eléctrica, que produce potenciales eléctricos que hacen las veces de barrera y evitan una aproximación demasiado estrecha de otras partículas.

La inestabilidad de las suspensiones es el resultado del contacto entre las partículas; la energía cinética para la traslocación la aporta el movimiento Browniano en el caso de las partículas más pequeñas; pero en un grado más importante, la energía producida en la suspensión coloidal resulta del mezclado o turbulencia, que aumenta enormemente la posibilidad de las colisiones entre las partículas, si las fuerzas de repulsión se reducen en grado suficiente, y si la capa de hidratación es lo bastante delgada. Una vez que se ha establecido el contacto entre partículas, las fuerzas de Van der Waals determinarán que aquellas se adhiera entre si y se registre una aglomeración progresiva de las mismas. (6)

### **7.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COAGULACION.**

Muchos factores influyen en la coagulación de aguas, entre ellos se pueden citar:

1. Tipo de coagulante.
2. Cantidad de coagulante.
3. Cantidad y carácter de color y turbiedad.
4. Caracteres químicos del agua.
5. Concentración de iones hidrógeno del agua.
6. Tiempo de mezcla y de floculación.
7. Temperatura del agua.
8. Fuerza de agitación.
9. Presencia de núcleos.

#### **1. TIPO DE COAGULANTE.**

El tipo de coagulante que se emplea es uno de los factores que influyen en la coagulación. Al elegir el mejor coagulante entre tres grupos de coagulantes: agentes de coagulación, auxiliares de la coagulación y coagulantes naturales, es

decir componentes presentes en algunas aguas, que por un tratamiento adecuado producen floculación. En segundo lugar, entre los dos primeros grupos se puede escoger entre varios productos químicos, cada uno de los cuales tiene sus ventajas en condiciones diferentes.

Tanto el alumbre de filtración como el sulfato férrico tienen ciertas ventajas específicas. El alumbre por ejemplo, no deja manchas de color pardo rojizo de mal aspecto en los pisos, las paredes y el equipo, que puede ocurrir cuando se emplean sales de hierro, y tampoco su solución es tan corrosiva como las sales férricas. El ión aluminio trivalente no se reduce al ión bivalente más soluble, lo que hace que las sales férricas en aguas de alto contenido de materia orgánica. Por otro lado la floculación férrica es más densa que la floculación con alumbre y se precipita en un intervalo más amplio de pH. (10)

## 2. CANTIDAD DE COAGULANTE.

La dosis de coagulante debe determinarse experimentalmente para cualquier tipo de agua o agua residual.

Para llevar al agua al punto de coagulación que le permitirá, después de pasar a través de filtros rápidos de arena, quedar completamente libre de turbiedad, varía mucho desde 1 o 2 partes por millón hasta más de 100 ppm. Para aguas más contaminadas se requiere de 1.321 a 1.58 gramos por litro. (10),(12)

## 3. CANTIDAD Y CARACTER DEL COLOR Y TURBIEDAD.

En cuanto a la influencia de los caracteres del agua, se puede hacer notar, por ejemplo, que las materias suspendidas muy finas son más difíciles de coagular que las partículas más grandes, si el agua es muy turbia o colorida también requiere una mayor cantidad de coagulante. (10)

## 4. CARACTERES QUIMICOS DEL AGUA.

Los caracteres químicos del agua tienen una gran influencia en el pH, en el que pueden formarse los flóculos de modo satisfactorio. En algunas aguas, puede ser difícil de obtener una buena coagulación con el sulfato de aluminio en pH 7.5, mientras que en otras aguas, especialmente las que tienen un alto contenido de bicarbonato de calcio, una buena coagulación se obtiene con un pH de 8.5 o todavía más, algunas aguas necesitan cierto ajuste hacia el lado ácido o alcalino para que sea posible una coagulación eficaz y económica. (10)

## 5. CONCENTRACION DE IONES HIDROGENO EN EL AGUA (pH).

Los primeros investigadores de proceso de coagulación observaron que el pH era la variable independiente más importante de entre las muchas que había que considerar. La amplitud de la escala de pH esta influenciada por el tipo de coagulante empleado, así como también por la composición química del agua y concentración del coagulante. La coagulación deberá efectuarse dentro de esta zona de pH. Si no se trabaja dentro de la zona óptima no sólo se derrochará cierta cantidad de producto químico, sino que el efluente de la planta de tratamiento de agua será de calidad inferior.

La zona de pH de solubilidad mínima para los productos de hidrólisis de las sales de aluminio está comprendida entre 5.5 y 7.8 unidades. En la práctica en presencia de iones y de la turbiedad normalmente existe en las aguas naturales, este margen de pH esta comprendido entre 6.0 y 7.8 unidades. (2), (6), (7)

## 6. TIEMPO DE MEZCLA Y DE FLOCULACION.

Uno de los requisitos más importantes para una buena coagulación y asentamiento de sólidos, es la mezcla rápida y completa de los productos químicos y el agua, seguida de floculación lenta. Tal tratamiento es necesario para asegurar una incorporación completa de los productos químicos, eliminando porciones del agua que no reciban su parte proporcional del coagulante aplicado. La mezcla rápida para distribuir el coagulante por toda el agua que se trata suele denominarse "mezcla instantánea" aproximadamente de 1 a 2 minutos. (6), (7)

La segunda etapa de crecimiento del floculo, o floculación consiste en una agitación moderada. (6)

Un floculante reúne partículas floculadas en una red, formando puentes de una superficie a otra y enlazando las partículas individuales en aglomerados. El alumbre, las sales de hierro y los polímeros de peso molecular alto son floculantes comunes. La floculación es estimulada por un mezclado lento que junta poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. El tiempo es aproximadamente de 5 a 20 minutos a una velocidad de 5 a 15 revoluciones por minuto. (16)

## 7. TEMPERATURA DEL AGUA.

La influencia principal de la temperatura en la coagulación es su efecto en el tiempo requerido para una buena formación de flóculos. Generalmente, cuanto más fría esté el agua más largo será el tiempo requerido para producir buenos flóculos con una cantidad dada de coagulante. Conforme disminuye la temperatura

del agua, debe aumentarse la dosis de productos químicos usados para coagular con objeto de asegurar la formación de flóculos adecuados. (10)

## 8. FUERZA DE AGITACION.

Se ha comprobado que una velocidad de 30 a 40 cm. por segundo, que se emplea mucho en el diseño de los tanques de coagulación, produce más o menos la fuerza de agitación deseada en los tanques. Aunque no ha sido posible determinar exactamente las velocidades máximas de batido de los agitadores de laboratorio que han de producir el asentamiento más rápido de la floculación, se ha notado también que esta velocidad se aproxima a 40 cm/seg. en la extremidad de las paletas agitadoras. Al hacer experimentos con velocidades de 60 cm/seg. se ha descubierto que las partículas floculadas dejan de crecer y quedan de un tamaño mucho menor que el necesario para el asentamiento rápido. (10)

## 9. PRESENCIA DE NUCLEOS.

Las partículas sólidas en suspensión actúan como núcleos para la formación inicial de los copos. A medida que aumentan las partículas, ejercen una indudable influencia sobre la velocidad de floculación y contribuyen al aumento de la densidad del flóculo y, por consiguiente, dan lugar a velocidades de sedimentación superiores. (10)

## 7.3 COADYUVANTES DE LA FLOCULACION.

Algunas sustancias se emplean para mejorar las características de los coagulantes ya mencionados, favoreciendo la formación de flóculos más grandes y pesados ayudan a eliminar color, sólidos suspendidos y materia orgánica. Los materiales que se emplean con este propósito pueden ser clasificados como: 1) Arcillas, 2) Silice activa, 3) Polielectrolitos, 4) Carbón activado, 5) Cal, 6) Acidos y Alcalis 7) Cloración. (22)

### ARCILLAS.

Algunas arcillas son empleadas como ayuda a la floculación en la eliminación de color de aguas altamente coloreadas. Posiblemente esta práctica tienen su origen en la observación de que las aguas superficiales de bajo contenido mineral, son más fácilmente coagulables cuando tienen turbidez. Los experimentos han demostrado que algunas arcillas son notablemente efectivas en la eliminación de color y turbidez. (22).

El efecto de estas arcillas se describe comunmente como "acción de peso", esto es, con aguas altas en color pero con muy baja turbidez, el flóculo

formado por coagulación consta principalmente por materia orgánica. siendo por esto demasiado liviano y no se asienta rápidamente; la adición de arcilla aumenta el peso del flóculo, es decir, le da "peso" y se asienta rápidamente. Además de este factor, existe otro, que es la capacidad de absorción de la arcilla. De cualquier forma, se ha encontrado en la práctica que la adición de pequeñas cantidades de arcilla promueve la formación de flóculos que se asientan más fácilmente, cuando se usan junto con coagulantes de aluminio o hierro. Estas arcillas también amplían el rango de pH en que la coagulación puede efectuarse. (22)

Hay arcillas comerciales que se han probado y son buenas como coadyuvantes de la coagulación, antes de usarse deben obtenerse muestras para probarse en el laboratorio. La dosificación requerida para una agua dada debe determinarse, por supuesto, en el laboratorio la dosis usual es de 17 a 51 ppm. (22)

### SILICE ACTIVADA.

La sílice es una ayuda de coagulación muy efectiva para la eliminación de turbidez, color, materia orgánica u otros suspensoides. Se emplea junto con los coagulantes ya mencionados. La sílice activada no existe como tal, si no que tiene que ser preparada en el sitio de uso por la acción de ciertos materiales ácidos sobre el silicato de sodio. (22)

Para este fin se usan soluciones de silicato de sosa de 41 grados Bé, con una proporción de 1.0 mol de  $\text{Na}_2\text{O}$  por 3.2 moles de  $\text{SiO}_2$ . El método más antiguo de activación consistía en la neutralización parcial del silicato de sodio en solución diluida de ácido sulfúrico. Se han empleado otros agentes activantes tales como sulfato de amonio, cloro, bióxido de carbono, y sulfato de aluminio. Además de estos agentes, puede usarse bisulfato de sodio, bisulfito de sodio, bicarbonato de sodio. (10)

La dosis de sílice activada se puede determinar fácilmente en el laboratorio. En general cuando se emplea junto con un coagulante común la dosis varía de 1 a 5 ppm. (6)

### POLIELECTROLITOS.

Un polímero es una cadena de pequeñas subunidades o monómeros. Muchos polímeros sintéticos contienen solamente un tipo de monómero; algunos contienen dos o tres tipos de sustancias diferentes. El número total de subunidades de un polímero sintético puede variar, produciéndose materiales de diferente peso molecular. Las cadenas pueden ser lineales o pueden tener varias ramificaciones. (3)

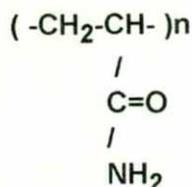
Si una unidad monomérica de un polímero contienen grupos ionizables, ejemplo: carboxilo, amino, grupos sulfónicos. El polímero se llama polielectrolitos. Según el tipo de grupos ionizables de la unidad monomérica, un polielectrolito puede ser catiónico, aniónico o anfotérico, contienen ambos grupos positivo y negativo ejemplo proteínas. Los polímeros que no contienen grupos ionizables se llama no iónicos. A continuación se presentan grupos de estos materiales: (3)

1. Polímeros no iónicos.

a) Oxido de polietileno.

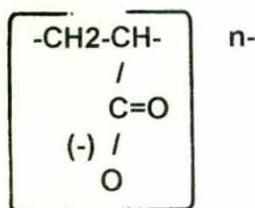


b) poliacrilamida

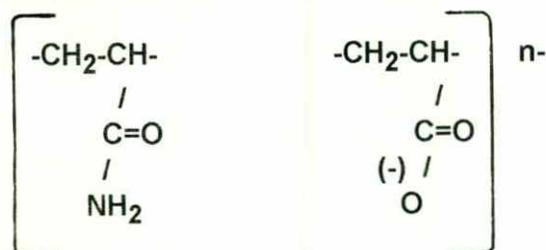


2. polielectrolitos aniónicos.

a) Acido poliacrílico.

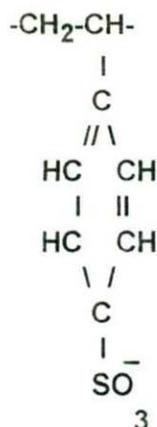


b) Poliacrilamida hidrolizada.



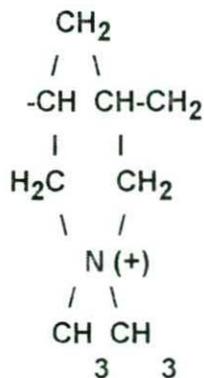
En este caso la carga negativa del polímero depende de grupos acrilamida que han hidrolizado a grupos acrílicos ácidos. Se fabrican corrientemente varios tipos de poliacrilamidas hidrolizadas con distintos grados de hidrólisis. (3)

c) Poliestireno sulfonado.



3. Polielectrolitos catiónicos.

Polidialildimetilamonio (PDADMA)



La capacidad de un polímero para actuar como floculante depende de su afinidad para enlazarse a la superficie de las partículas coloidales. En muchos casos estos materiales son bastante específicos. Los enlaces pueden ser formados entre grupos funcionales particularmente del polímero y lugares específicos de la superficie coloidal.

Cuando se utilizan polímeros aniónicos o no-iónicos, es necesario un tamaño mínimo, peso molecular para que estas moléculas puedan salvar las barreras energética potencial entre dos partículas coloidales negativas. Este tamaño mínimo depende de factores tales como el número de grupos cargados y grado

de ramificación del polímero, carga de las partículas coloidales, y la fuerza iónica de la solución. Datos limitados sugieren que este tamaño mínimo corresponde a un peso molecular del orden de un millón. (3)

### **CARBON ACTIVADO.**

Se ha comprobado que el uso de carbón activado en el tratamiento de aguas, es útil para el combate de olores; para la regulación del pH en los tanques de digestión; para mejorar la digestión del lodo y la calidad de éste, así como sus características de secado; para evitar la formación de espuma en los tanques de digestión del lodo; y para combatir el apelmazamiento del lodo.

Las propiedades peculiares del carbón activado se debe, en parte, a la capacidad de adsorción de sus partículas, que exponen un área superficial extremadamente grande a la materia coloidal, que es adsorbida por las partículas de carbón.

El carbón activado se usa en forma de un polvo que puede ser aplicado con una máquina de aplicación en seco, directamente a las aguas o al lodo que se desea tratar. Se aplica una dosis de 16 a 23 kilogramos de carbón activado por  $3.785 \times 10^6$  litros. (12)

### **CAL.**

El principal uso de la cal en la coagulación es proporcionar alcalinidad artificial en las aguas que se van a tratar con sulfato de aluminio o sulfato ferroso. La cal se puede utilizar como coagulante sin auxilio adicional de productos químicos para aguas que tengan un elevado contenido de compuestos de magnesio. Por lo tanto, una gran proporción del magnesio se transforma en una masa floculenta. (1)

La cal se puede comprar en forma de cal viva,  $\text{CaO}$ , o cal hidratada,  $\text{Ca(OH)}_2$ . La cal viva contienen de 75 a 99% de óxido de calcio puro, pero debe apagarse con agua antes de utilizarse. La cal hidratada por otra parte, es cal apagada lista para su uso, y contienen entre 80 y 99% de hidróxido de calcio. La cal viva es más barata que la hidratada, por lo que se emplea casi en todas las grandes plantas. (1)

### **ACIDOS Y ALCALIS.**

Los ácidos y los álcalis se emplean como coadyuvantes en la coagulación a fin de que el pH del agua esté en su punto de zona óptimo. (10)

Los caracteres de los álcalis más importantes la cal y la sosa cáustica se utilizan para ablandamiento del agua. Los ácidos se emplean cuando se requiere una fuerte depresión del pH. A veces cuando el costo del ácido es muy elevado, algunas plantas queman azufre y obtienen ácido sulfuroso por absorción del dióxido de azufre.

La sosa comercial que en esencia es carbonato de sodio  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , se utiliza para proporcionar alcalinidad artificial a las aguas que se tratarán con sulfato de aluminio y también reduce la dureza permanente.

Quando se utiliza la sosa cáustica no aumenta la dureza del agua (NaOH).  
(10)

#### CLORACION.

Aun cuando el cloro no es coagulante en el sentido estricto de la palabra, se emplea frecuentemente para ayudar en la coagulación, acondicionando el agua al remover o destruir materiales que inhiben la formación de flóculos. Este pretratamiento se emplea frecuentemente en aguas contaminadas con compuestos orgánicos, tales como agua de pantano fuertemente coloridas y también con las contaminadas por residuos sanitarios o industriales. (7)

## VII MODO DE USO DE LOS PRODUCTOS QUIMICOS.

Sabemos que la adición de productos químicos al agua ha de ser uniforme y proporcional a la cantidad del agua que debe tratarse, los dos métodos empleados son: Alimentación en solución y alimentación en seco.

El tipo preferible para cualquier planta específica depende de diversos factores. La cantidad que se debe de alimentar es importante, el carácter del producto, las facilidades disponibles en la planta, si la planta es grande se tendrá personal disponible para preparar soluciones de la concentración apropiada y tenerlas listas cuando se necesiten. (10)

### 8.1 ALIMENTACION POR SOLUCION.

La solución debe tener concentración conocida, de modo que al usar cantidades específicas de solución la cantidad de producto químico aplicada puede determinarse fácilmente. Siendo el sulfato de aluminio y el sulfato ferroso bastante solubles, se emplean generalmente soluciones sin saturar.

Se utiliza un tanque de nivel constante con orificio ajustable, sirve para medir las soluciones químicas y lograr una aplicación uniforme.

Generalmente estos tanques de alimentación están provistos de válvulas con flotador que regulan el nivel del líquido. Hasta hace poco tiempo, estos tanques se colocaban debajo de los tanques de solución. Sin embargo, existen algunas plantas donde la solución se bombea desde los tanques de alimentación hasta los reguladores, y hoy se emplean bombas eyectores y flujo controlado de los tanques para hacer la alimentación más precisa de lo que sería posible mediante orificios alimentados desde tanques de nivel constante.

En muchas plantas se emplean sistemas automáticos para cambiar la corriente del agua. Este control es conveniente cuando la corriente fluctúa a intervalos frecuentes. La mayor parte de los sistemas de este tipo están conectados de alguna manera con medidores. Pueden trabajar por medio de electricidad, con el medidor haciendo contactos que abren o cierran los orificios o por flotadores conectados con tubos venturi. (1) (10)

### 8.2 ALIMENTACION EN SECO.

Dos tipos de máquinas controlan de manera muy precisa la alimentación de productos químicos: Las gravimétricas y las volumétricas. Con la primera se

logra una entrada de materiales con un gran intervalo de tamaño de partículas. Con los alimentadores volumétricos hay que emplear productos químicos que sean razonablemente uniformes en el tamaño de sus partículas en los distintos envíos a granel o de un bulto a otro. Cuando los materiales varían de trozos grandes a polvos finos, no pueden ser alimentados con precisión por este tipo de maquinaria.

Cuando los productos químicos deben disolverse o suspenderse en el agua antes de que alcancen el punto de aplicación, se añade agua en el momento preciso cuando el producto sale de la máquina alimentadora, agua que sirve, además, para transportarlo hasta el lugar donde se adiciona al agua que debe ser tratada. Todas las máquinas alimentadoras en seco vienen equipadas con sistemas para agregar productos químicos en un intervalo bastante amplio de tamaños.

Aun cuando se utilicen máquinas alimentadoras en seco, el coagulante se disuelve o suspende en agua antes de la aplicación.

La cal viva en terrones se descarga por la máquina alimentadora en un tanque de apagado, y la papilla caliente que resulta se diluye y se lleva al punto de aplicación ya sea por gravedad o mediante el empleo de bombas o de eyectores.  
(1), (10)

## BIBLIOGRAFIA

1. W.A Hardenbergh, Edward B.Rodie. 1984. Ingeniería sanitaria, Ed.CECSA. México. págs. 274-291.
2. American Society for testing and materiales. 1982. Manual de aguas para usos industriales. Ed. Limusa S.A. México D.F. Págs. 86-89.
3. Walter J., Weber Jr. Control de la calidad del agua, procesos fisicoquímicos. Ed Reverte S.A. PÁgs. 64-115
4. Mark J. Hammer. Water and wasterwater technology 2da. edition.- Págs. 22,23 y 282-285
5. Water renovation and Reuse. 1977. Edited by Hillel I. Shuval Academic press. N.Y. Págs. 10-16
6. American Water works Asociation. 1975. Control de calidad y tratamiento de agua. Ed Mc. Graw Hill. Madrid España. Págs. 75-127
7. Sheppard T. powell. 1986. Acondicionamiento de aguas para la industria. Ed. Limusa. México. Págs. 35-57
8. Manual de control de calidad de aguas residuales.1990. Editado por el departamento de servicios técnicos de LICONSA. Págs. 1/20.
9. W.W. Eckenfelder d.I. Ford. 1970. Control experimental procedures for precess desing Págs. 83-90.
10. American water works Association. 1978. Agua su calidad y tratamiento. Ed. Uteha. México. Págs. 137-167
11. Gordon Maskew fair. Jhon Charles Geyer. Daniel Alexander Okun. 1973. Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales vol. II Ed. Limusa. Págs.187-199 y 375-389
12. H.R. Babbitt E.R. Baumann. 1983. Alcantarillado y tratamiento de aguas negras. Ed. Continental S.A. México. Págs. 525-541
13. L. Germain I. Calas J. Rouquel. 1970. Tratamiento de las aguas. Ed. Omega. México. Págs. 36-39
14. Turk-turk-Wittes. 1978 Ecología-Contaminación-Medio Ambiente. Nueva Editorial Interamericana S.A. México. Págs. 115-138
15. Departamento de sanidad del edo. de New York.1980. Manual de tratamientos de agua. Ed. Limusa. Págs. 85-95
16. Nalcon 1980. Manual del agua su naturaleza, tratamiento y aplicación Ed. Mc. Graw Hill. Madrid España. Págs. 8-1 a 8-17 y 11-1 a 11-14
17. The Safe Disposal ef Hazardous wastes. 1989. vol. II . USA. Washington Págs. 41,42 y 43.
18. Pérez O. 1974. Proyecto de una planta potabilizadora de agua. México D.F. Págs. 37 y 38.
19. Emil T. Chanlett. 1978. La protección del medio ambiente. Ed.Mc.Graw Hill. México Págs. 115-134.
20. Michael WinKler. 1970. Tratamiento Biológico de las aguas de desecho. Ed. Limusa. México. Págs. 87-89 y 117-119
21. Curso sobre aguas residuales. Q.M. Esparza j. M. 1990
22. Eskel Nordell. 1963. Tratamiento de agua para la industria y otros usos. Ed. CECSA. México 2da. edición. Págs. 20