



---

### III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Definición de detergencia

La detergencia es la remoción de un material no deseado de un sustrato sumergido en cierto medio, generalmente con el uso de una fuerza mecánica y en presencia de una sustancia química que puede reducir la adherencia del material no deseado al sustrato. Se termina el proceso cuando el material indeseado se mantiene en suspensión sin adherirse de nueva cuenta. (Cutler, 1981). Este proceso se ve afectado principalmente por la concentración y estructura del surfactante, la dureza y los aditivos que controlan esta en el medio de lavado. Otros factores son la naturaleza del sustrato que se va a someter al proceso de lavado y el material a retirar.

Por otro lado, juegan también un papel importante las condiciones físicas del medio de lavado como: la temperatura, tiempo de proceso, naturaleza mecánica del proceso, la razón de lavado (expresada como la relación entre el peso del lavado y el peso del material a lavar) y las condiciones de enjuague. Todo esto se conoce como sistema detergente. La gran variedad de combinaciones entre tantos factores hacen que los sistemas detergentes sean complejos, además de que ciertos factores como la temperatura y la dureza tienen comportamientos que se contraponen. Esto hace que un proceso de lavado eficiente se vea precedido por un estudio de las condiciones óptimas del sistema detergente en cuestión.

#### 3.2 Suavización de agua

La dureza del agua es debida principalmente a la presencia de cationes de calcio y magnesio. El fierro y el manganeso deberían ser incluidos en la definición de dureza, pero debido a que las cantidades de estos constituyentes en la mayoría de las aguas crudas son pequeñas, se considera sólo los cationes ya citados, salvo situaciones especiales. En la mayoría de las aguas naturales el calcio excede el magnesio

---



(generalmente la proporción calcio-magnesio es 2:1).

**Tabla I.- Clasificación del agua de acuerdo a su dureza**  
(<http://www.avantel.net/~arbolag/dureza.htm>)

<b>Clasificación</b>	<b>ppm.</b>
Suave	0-75
Poco dura	75-150
Dura	150-300
Agua muy dura	Más de 300

La remoción de la dureza con el propósito de evitar sus efectos nocivos es llamada “ablandamiento” o “suavización”.

### **3.2.1 Métodos de desmineralización y control de dureza**

El término desmineralización es definido como la remoción de impurezas minerales iónicas disueltas, presentes en el agua o en cualquier otro líquido (Applebaum, 1974). Algunos métodos tradicionales para lograr la remoción de impurezas iónicas tienen algunas limitaciones. Estos pueden remover sólo algunos de los cationes y aniones, sin embargo siguen siendo usados debido a que son métodos económicos.

Existen varios métodos para el ablandamiento de aguas, como son:

#### **3.2.1.1 Adición de hidróxidos de calcio y carbonato de sodio en frío**

El proceso de suavización de agua a temperatura ambiente por la adición de químicos, tales como hidróxidos de calcio y sosa, fue desarrollado comercialmente aproximadamente hace cien años en Gran Bretaña. El uso de hidróxidos de calcio para



reducir la llamada dureza temporal es atribuido a Clark, quien recibió una patente por un proceso de ablandamiento con hidróxidos de calcio en 1841. Posteriormente Porter implementó en 1876 el uso de sosa con hidróxidos de calcio para reducir la llamada dureza permanente. La combinación de hidróxidos de calcio y sosa ha sido llamada el método Clark-Porter.

El término “temporal” se refiere al carbonato, o preferentemente a dureza de bicarbonato. Esto expresa el carácter transitorio de la dureza cuando el agua es calentada. El bicarbonato de calcio, por ejemplo, se descompone en carbonato de calcio, volviéndose muy insoluble, de manera que precipita. El término “permanente” se refiere a la dureza de no carbonatos, es decir, los sulfatos y cloruros de calcio y magnesio. Esa dureza soluble restante se mantiene disuelta al ser calentada y por lo tanto no precipita.

Los químicos usados generalmente son hidróxido de calcio hidratado o sin hidratar, en lugar de óxido de calcio. Si el óxido de calcio está disponible a bajo costo, es usualmente hidratado con agua a altas concentraciones, antes de ser adicionado en una corriente diluida al agua.

Los precipitados de carbonato e hidróxido de magnesio son comúnmente tan finamente divididos que sedimentan muy lentamente. Por lo tanto, en plantas que utilizan la adición de carbonatos e hidróxidos en frío, coagulantes como sulfatos de aluminio y fierro son adicionados, los cuáles coagulan los precipitados en grandes masas que se precipitan a una mayor velocidad. Los coagulantes pueden ser necesitados además para ayudar a remover cantidades apreciables de materia orgánica y suspendida, originalmente presente en el agua cruda. Si la materia orgánica se encuentra en concentraciones altas puede ser necesitada, debido a que los orgánicos inhiben la precipitación.



### **3.2.1.2 Adición de hidróxidos de calcio y carbonato de sodio en caliente**

La aplicación comercial del proceso de hidróxido de calcio y carbonato de sodio calientes inició en los Estados Unidos cerca de 1900. El agua es precalentada con vapor antes de que los químicos sean añadidos. El calor acelera las reacciones y produce efluentes más suaves. Por esta razón, las unidades de proceso caliente han sido ampliamente usadas para el ablandamiento del agua utilizada en los calentadores de presión media.

Los procesos de ablandamiento en caliente reducen la dureza residual hasta rangos entre 17 y 25 ppm de  $\text{CaCO}_3$  con ligeros excesos de químicos. Otra cualidad del proceso es reducir la sílice (como  $\text{SiO}_2$ ) a menos de 1 ppm. con los reactivos absorbentes de sílica necesarios. De esta manera, el agua ablandada es tan estable, que reacciones secundarias son evitadas.

Las plantas de procesos calientes pueden tratar aguas superficiales de turbidez moderada. Para aguas de alta turbidez, aluminato de sodio o sulfato férrico pueden ser adicionados con el hidróxido de calcio y el carbonato de sodio. Como otra opción, algunos polielectrolitos coagulantes pueden ayudar a producir agua más pura. Por otro lado, en algunas aplicaciones, el proceso caliente ha sido precedido por el proceso en frío para remover la mayor parte de la turbidez silíceo del agua; esto evita la disolución de la sílice en el proceso caliente, donde las condiciones de alto pH y temperatura pueden promover este fenómeno.

### **3.2.1.3 Intercambio de cationes ciclo de sodio**

El proceso de ablandamiento de aguas con zeolita de sodio fue la primera aplicación comercial del intercambio iónico. Este fue continuado exitosamente en la conversión de agua dura en agua con un alto grado de pureza, en aplicaciones domésticas e industriales. Los cuatro pasos en los que se lleva a cabo la operación de



suavización son los siguientes:

- 1) *Retrolavado*.- Durante el flujo corriente debajo del agua cruda en el proceso de ablandamiento, la cama de zeolita ha removido materia suspendida del agua. En la operación de retrolavado, un flujo corriente arriba, expande la cama y libera los residuos, de tal manera que estos pueden ser descargados en una corriente de desecho. De esta manera el empaque es limpiado y aflojado, incluso clasificando el material (los gránulos más grandes se separan de los más pequeños, haciendo llegar a estos últimos hasta la parte de arriba), lo cuál beneficia la distribución uniforme de la salmuera regenerativa a través de la columna.
- 2) *Inyección de la salmuera regenerativa y su desplazamiento*.- La salmuera regenerativa es inyectada por la parte de arriba de la torre. Posteriormente se introduce agua a flujos bajos, lo cuál desplaza la salmuera hacia abajo lentamente hacia la parte más baja de la columna.
- 3) *Enjuague rápido*.- Un flujo grande de agua purga y enjuaga la salmuera adherida a la columna, haciendo que los iones calcio y magnesio sean retenidos.
- 4) *Servicio*.- El agua cruda es pasada de nuevo corriente abajo a través de la columna para la siguiente corrida de suavización.

#### **3.2.1.4 Ablandamiento de aguas con membranas de Nanofiltración (NF) y Ósmosis Inversa (OI)**

Las membranas de NF y OI son utilizadas para aguas blandas (y remoción de iones divalentes). A causa de su habilidad para rechazar altos porcentajes de muchos componentes disueltos, las membranas de NF y OI ofrecen una alternativa de tratamiento que elimina contaminantes específicos de aguas con bajos STD. La NF (o membranas a presión ultra-baja) normalmente proporcionan del 80 al 95% de rechazo de



dureza y el 70% de rechazo de iones monovalentes en un rango que se ubica tan sólo entre los 500 y 700 kPa; mientras que las membranas de OI operan a presiones mucho más altas (alrededor de los 2400 kPa) y tienen eficiencias más altas. Por otro lado, en aplicaciones recientes, los costos de producción para los procesos de NF son menores que los asociados con el ablandamiento convencional (por hidróxidos y carbonatos). De esta forma, la NF ha demostrado ser particularmente viable para el tratamiento de alta dureza, e incluso, materia orgánica. Es conveniente señalar que, según la experiencia, estos sistemas aumentan su eficiencia al tratar aguas con valores de STD menores a 1000 ppm., por lo que al usar NF (u OI), puede requerirse un pretratamiento que aumente la viabilidad del proceso.

### **3.3 Principales componentes de los detergentes**

Los detergentes usados comúnmente pueden ser clasificados mediante sus diferentes usos: en lavadoras, acondicionadores de telas, lavatrastes, etcétera. Principalmente los detergentes empleados en lavadoras y lavado de trastes pueden contener fósforo presente en los TPFS. Estos tipos de detergentes incluyen una amplia gama de componentes como agentes suavizadores, surfactantes y agentes eliminadores de manchas, que tienen diferentes roles:

- Agentes suavizadores.- Desarrollan las condiciones óptimas para la operación de los surfactantes, desactivando los minerales causantes de la dureza del agua.
- Surfactantes.- Solubilizan el material indeseado (suciedad) pegándose a la parte grasa y atrayéndola al agua. Estos pueden ser aniónicos, catiónicos, no iónicos o anfotéricos. Los surfactantes aniónicos ocupan la mayor parte del mercado (> 60%). Estos incluyen dodecilsulfonato y sulfonato de alquilbenceno lineal (“LAS”, por sus siglas en inglés).



- Los agentes que remueven las grasas (blanqueadores y enzimas) oxidan o degradan sustancias para hacerlas removibles.
- Otros ingredientes incluyen álcalis, activadores de blanqueado y agentes antidepositantes, agentes fluorescentes y perfumes.

La presencia de los componentes ya citados está dada por los siguientes porcentajes:

**Tabla II. Composición típica de un detergente (Cutler, 1981)**

Ingredientes	Composición en % peso
Surfactantes	12 al 15 %
Ablandadores del medio de lavado	25 a 60 %
Agentes antidepositantes	0 al 20 %
Otros	5 al 10 %

### 3.3.1 Surfactantes

Estas sustancias modifican las interacciones existentes en las interfases mediante el favorecimiento de la adsorción. Lo que le permite a una molécula de surfactante interactuar en las interfases de un sistema es su estructura, la cuál está formada por una parte hidrófila y otra hidrófoba. Los detergentes usualmente contienen varios tipos de surfactantes tales como jabones (aniónicos), alquilbencensulfonatos (aniónicos), alcoholes grasos etoxilados. La mezcla apropiada es cuidadosamente balanceada para controlar la espuma y proveer una adecuada eficiencia de lavado (para la temperatura de lavado, tipo de sustrato y dureza del agua), a un precio que el usuario esté dispuesto a pagar. Sin embargo, la eficiencia del surfactante es muy reducida en agua dura y sus propiedades deterativas no son completas inclusive en agua blanda.

### 3.3.2 Agentes suavizadores

Los agentes suavizadores son necesarios en la composición de un detergente porque:



- Reducen la dureza del agua (iones de calcio y magnesio que reducen la eficiencia del surfactante y se incrustan en las superficies a limpiar).
- Crean y estabilizan la alcalinidad proveyendo de las condiciones óptimas para la remoción de la suciedad.
- Facilitan la solubilización de todos los componentes del detergente.
- Promueven la dispersión de la suciedad y ayudan a evitar su re-deposición.

Los agentes suavizadores además juegan el rol de “el esqueleto” que mantiene juntos los polvos en forma de gránulos en un detergente, facilitando su manejo durante su fabricación y uso. Su principal uso es en detergentes de lavandería, con una cantidad cercana al 70% de ventas, seguida por los detergentes para lavado de automóviles (15%) y detergentes industriales (15%)

Desde 1947 hasta la década de los 80's, los tripolifosfatos de sodio (TPFS) y algunos otros fosfatos dominaron el mercado de los agentes suavizadores en detergentes. Desde entonces los TPFS han sido parcialmente reemplazados por una combinación de zeolita (principalmente zeolita A) con ácido policarboxílico y carbonato de sodio. Las zeolitas son alumino-silicatos. Esta mezcla es usada predominantemente en detergentes en polvo (estándares, compactos o súper-compactos) o en tabletas.

Un tercer sistema, basado en citratos, es usado para detergentes para lavadoras automáticas de trastes y detergentes líquidos. Los citratos son menos agresivos al lavar artículos de mesa delicados, pero son más caros.

Un cuarto sistema, basado en ácido nitrilotriacético (nitrilotriacetic acid, NTA), no es usado actualmente debido a preocupaciones acerca de su toxicidad en el





ambiente. Muchas de esas preocupaciones se han reducido gracias a estudios recientes. Todos los sistemas suavizadores, actualmente, usan combinaciones de un componente principal y algunos otros componentes subsidiarios para mejorar la eficiencia de las propiedades de los detergentes.

**Tabla III.- Sustancias ocupadas en detergentes (Glennie, 2002)**

Nombre		Impactos
Tripolifosfato de Sodio	TPFS	Contiene 25% de Fósforo, el cuál, con Nitrógeno, es la principal causa de eutrofización en ríos, Lagos y aguas costeras.
Zeolitas (A, P, X, AX)		Efecto ambiental no medido. Incrementa la cantidad de lodos. Trabaja junto con otros aditivos, especialmente PCA's (ácidos policarboxílicos).
Ácidos policarboxílicos	APCs	Pobrementemente degradable, se absorbe a los lodos. Limitación de datos de su destino en el medio ambiente, sólo se usa con zeolitas.
Citratos		Quelante, más efectivo en iones de magnesio y calcio, contribuye a la carga de DBO en el tratamiento de aguas residuales. Usado especialmente para detergentes líquidos.
Ácido Nitrilotriacético	ANT	No es usado en USA, debido a temores de que pueda promover la disolución de metales pesados (quelación). Estos temores hasta ahora no han sido del todo bien fundados.
<b>COMPONENTES SUBSIDIARIOS</b>		
Carbonatos		Suaviza por precipitación de iones de calcio; mejora y estabiliza la alcalinidad.
Silicatos		Mejoran alcalinidad;
Fosfonatos		Pobrementemente biodegradables, quelante de iones metálicos, agente antidepositante.
Jabón		Adicionado para reducir espuma en lavadoras
Ácido Etilendiaminotetracético	EDTA	Pobrementemente degradable. Disuelve iones metálicos
Carboximetilcelulosa	CMC	Agente antidepositante, repele la suciedad de las telas



**Tabla IV.- Comparación de detergentes convencionales basados en Fósforo y Detergentes de formulación libre de Fósforo (polvo convencional) (Glennie, 2002)**

Tripolifosfato de Sodio Zeolita	(TPFS)	20-25	0
Policarboxilatos (APC's)		0	25
Fosfonatos orgánicos		0	4
Silicato de sodio		0 a 0.2	0.4
Carbonato de Sodio		6	4
		5	15
Surfactantes		12	15
Perborato de sodio		14	18
Activador		0 a 2	2.5
Sulfato de sodio		1 a 24	9
Enzimas		1	0.5
Agentes antidepositantes		0.2	1
Agentes abrillantadores ópticos		0.2	0.2
Perfume 1		10	0.2
Agua			5

1.- Los perfumes no afectan al desempeño del detergente. Su contenido es variable

### 3.3.2.1 Tripolifosfato de Sodio

El tripolifosfato de Sodio es el agente ablandador más ampliamente utilizado, ya que permite a los detergentes sintéticos trabajar con eficiencia en todas las condiciones de lavado, minimizando el uso de los surfactantes. El TPFS también juega otros roles en los detergentes, incluyendo el mantener la alcalinidad durante el proceso de lavado (asistiendo la remoción de residuos grasos), protege el equipo de lavado (lavadora) contra corrosión, ayuda a suspender la suciedad en el agua de lavado y previene la redepositación de esta en el sustrato. Además de esto, ayuda a la manufactura, almacenamiento y uso eficientes de los detergentes al estabilizar sus



propiedades físicas, facilita la disolución de los detergentes, ya que los detergentes son altamente solubles y de esa manera facilita ya acelera la disolución del detergente en el agua de lavado, permitiendo el buen desempeño del detergente.

### **3.3.2.2 Zeolitas**

El potencial de las zeolitas para remover nutrientes como N y P y metales pesados ha sido reconocido por varios años. Zeolita A es un aluminosilicato sintético cristalino negativamente cargado que consiste de un arreglo tridimensional de tipo aluminosilicato tetraédrico, el cuál forma una estructura de panal (Glennie, 2002).

Las zeolitas son agentes ablandadores sintéticos usados en los detergentes libres de fosfatos, necesariamente en conjunción con otros químicos. En la mayoría de los detergentes modernos libres de fosfatos, las zeolitas son usadas con PCA's (policarboxilatos), pero otros químicos han sido usados en algunos detergentes, por ejemplo el NTA (nitrilo tri acetic acid), EDTA, carbonato de sodio, citratos, etc. Las zeolitas absorben, por intercambio iónico, una gran parte del calcio (pero no del magnesio) presente en la dureza del agua, pero la velocidad a la cuál la zeolita está disponible para absorber iones calcio es muchas veces inferior a la del tripolifosfato de sodio. Además de esto, no lleva acabo todas las funciones que el tripolifosfato en el detergente. Por esto es significativamente menos eficiente que el tripolifosfato de sodio y su uso sin ningún tipo de cambio en la fórmula del detergente podría resultar en una detergencia pobre y un incremento severo en los depósitos sobre el sustrato. La afinidad de adsorción de iones y su liberación es influenciada por factores tales como la dureza del agua, pH y temperatura (Glennie, 2002)

### **3.3.2.3 Silicatos**

La adición de silicatos a los detergentes sintéticos ha demostrado ser muy benéfica. Los silicatos ablandan el agua mediante la formación de precipitados que son



fácilmente removidos. Estos no tienden a depositarse en las superficies dado que tienen grandes propiedades anti-depositantes. Todos los silicatos tienen excelentes propiedades como amortiguadores del pH en contra de sustancias ácidas. Esto es muy importante ya que un gran número de sólidos indeseados en los procesos de detergencia son ácidos.

Los silicatos pueden inhibir la corrosión del acero y el aluminio. El meta silicato de sodio es un silicato comúnmente utilizado y puede presentarse en forma anhidra o hidratada. Su fórmula típica es  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ .

Otro grupo, los silicatos coloidales, están disponibles en forma de líquidos concentrados conocidos como “water glass”. Tienen diferentes proporciones  $\text{Na}_2\text{O}:\text{SiO}_2$ , que van de 1:1.6 a 1:3.75. Entre más grande la proporción de sílice se vuelve menos soluble y baja el pH aportado a la solución.

En la actualidad la tendencia en nuestro país en cuanto a los detergentes favorece a los productos líquidos concentrados que utilizan fosfatos y silicatos como agentes ablandadores y anti-depositantes aun cuando de acuerdo al EU Environment Directorate, en su reporte del 2002 sobre fosfatos y otros agentes ablandadores alternativos, países como USA, Austria, Bélgica, Alemania entre otros han reducido su producción de detergentes fosfatados a cero o niveles cercanos.

### **3.4 Detergentes y el medio**

#### **3.4.1 Detergentes: Desde su manufactura hasta su descarga**

Las extensas investigaciones y desarrollo en el campo de los detergentes sintéticos para aplicaciones específicas ha sido tal que han sido desarrolladas formulaciones que permiten eficiencias de limpieza muy altas. Debido a esto, el privar a los consumidores de disponer de productos de alta eficiencia detergente, debido a circunstancias ambientales conlleva a consideraciones complejas.



La imposición del uso de detergentes con limitaciones en su formulación le da una gran importancia al hecho de realizar una evaluación cuidadosa de su impacto ambiental. Este tipo de consideraciones han alcanzado para los fabricantes de detergentes en la mayoría de los países de la Unión Europea y en Estados Unidos, la misma importancia que otros aspectos del negocio como el análisis de mercado, competitividad técnica, aspectos económicos, etc.

Con el propósito de lograr una evaluación del impacto de los detergentes sintéticos en el medio ambiente, una revisión cuidadosa de los siguientes aspectos debe ser realizada:

- Especificar la calidad ambiental deseada y elucidar las interrelaciones biológicas, químicas y biogeoquímicas inherentes en la calidad ambiental deseada.
- Identificación de los componentes contaminantes potenciales en los detergentes sintéticos y determinación de cómo podrían afectar la calidad ambiental si son descargados al medio.
- Evaluación de la tecnología actual y futura del tratamiento de aguas residuales, relativa a los elementos contaminantes potenciales.

La interrelación de cada una de las consideraciones anteriores, son claramente ilustradas en la siguiente figura:

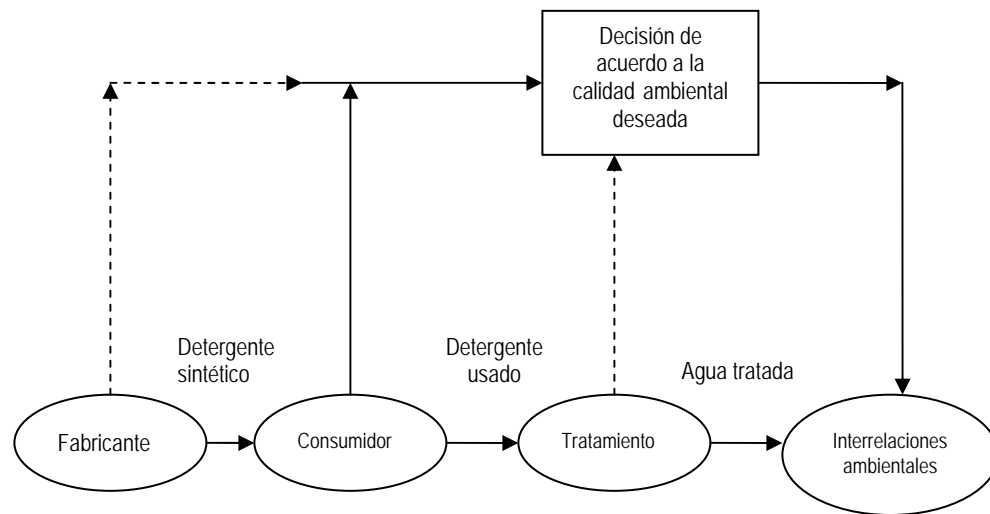


FIG. 1. Diagrama de flujo para un detergente sintético desde su manufactura hasta su descarga al ambiente (Cutler, 1981)

La naturaleza dinámica de este sistema es inmediatamente aparente cuando uno considera que en determinado momento las formulaciones de los detergentes están siendo mejoradas, las demandas de los consumidores están cambiando, el tratamiento de aguas esta evolucionando, y el nivel deseado de calidad ambiental esta cambiando también. La tendencia de este sistema es a alcanzar una condición de estado estable donde la contribución de cada uno de los primeros tres componentes de la figura anterior (manufactura del detergente, demandas de los consumidores y capacidad del tratamiento de aguas) para determinado instante, se mantengan en equilibrio con el nivel de calidad ambiental deseado (o tolerable).

Como se indica en la figura anterior, las decisiones tomadas de acuerdo al nivel de calidad ambiental deseado deben ser tomadas principalmente por los propios ciudadanos (por ejemplo los consumidores) después de considerar las características actuales de los detergentes sintéticos y el tratamiento de aguas residuales. Es irremediable considerar qué tan grande debe ser el sacrificio financiero por obtener beneficios ambientales. Un escenario inaceptable sería el sacrificio de eliminar el uso de detergentes con el propósito de asegurar un medio ambiente sin perjuicios por esta industria; por otro lado,



una propuesta más racional sería lograr la condición de estado estable de la figura 1. En este modelo ideal, los consumidores, sin duda, deben de mantener su exigencia por la eficiencia de las formulaciones de los detergentes sintéticos; pero al mismo tiempo ellos deben de esperar pagar al menos el costo parcial de la colección y tratamiento de aguas. De otra forma, como ellos esperan descargar ciertos contaminantes al medio, también deben aceptar cierta reducción en el nivel de calidad ambiental. Cabe señalar que las relaciones exactas dentro de este modelo varían tanto con el tiempo como con la localización geográfica, y por lo tanto, no se pueden desarrollar modelos aplicables a todos los casos.

### **3.4.2 Características contaminantes de los detergentes sintéticos**

La formulación de diferentes detergentes sintéticos varía mucho de una marca a otra, al grado de que un cierto tipo de componente tal como los suavizadores fosfatados puede ser eliminado. Sin embargo, todos los componentes pueden ser clasificados según su impacto ambiental en dos grupos: orgánicos e inorgánicos. Esta es una distinción conveniente porque, en general, los componentes orgánicos e inorgánicos crean diferentes impactos en el medio ambiente y son tratados de diferente forma para su remoción en aguas residuales.

El componente orgánico predominante de un detergente sintético es el surfactante, el cuál está generalmente compuesto por una fracción de hidrocarburo no polar y una fracción polar conteniendo un grupo catiónico, no iónico o aniónico. Los surfactantes aniónicos usualmente contienen sulfatos o sulfonatos como su grupo funcional y son totalmente biodegradables si su cadena de hidrocarburo es lineal.

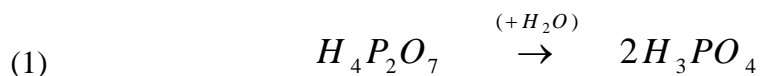
La fracción inorgánica del detergente se debe principalmente a los agentes secuestrantes que son adicionados al detergente con el propósito de eliminar el efecto de dureza del agua. El agente secuestrante más usado es el tripolifosfato de sodio, usado sólo o en conjunto con polímeros más grandes o fosfatos. Otros componentes



inorgánicos tales como sulfato de sodio, borato y/o perborato de sodio, cloruro de sodio, silicato de sodio, y carbonato de sodio son usados como agentes secuestrantes acompañando o sustituyendo a los fosfatos.

### 3.4.2.1 Fósforo

El fósforo existe casi siempre en estado más alto de oxidación, por ejemplo, ión fosfato. Este hecho no implica un rol simple del fósforo en el ambiente, por el contrario, este hecho complica el caso considerablemente debido a que el ión fosfato necesita experimentar principalmente sólo transformaciones químicas menores para llegar a ser transportado a través de un ciclo. Grandes cantidades de fosfatos orgánicos son emitidos en las excretas humanas y contribuyen de manera significativa en las aguas residuales municipales; estos fosfatos orgánicos son fácilmente hidrolizados a fosfatos inorgánicos. Los polifosfatos, que pueden ser componentes significativos en detergentes sintéticos (ver la tabla 4 que es de la formulación típica de los detergentes), son hidrolizados en solución acuosa a la forma orto por reacciones típicas como la mostrada para el pirofosfato de tetrahidrógeno:



El fosfato soluble inorgánico es tomado por los sistemas vivientes, principalmente por bacterias, fitoplancton y plantas acuáticas, y convertido a ésteres de fosfato de alta energía, los cuáles posteriormente pueden servir como fuentes de energía para reacciones bioquímicas desfavorables termodinámicamente, que son necesarias para el metabolismo. Otros iones fosfato inorgánicos pueden, además, llegar a ser complejados con iones como calcio, manganeso y fierro, permaneciendo en solución; o bien siendo adsorbidos en las superficies sólidas de arcillas o fangos presentes en los fondos de cuerpos de agua. Fosfatos inorgánicos bajo ciertas condiciones de pH pueden precipitar con cationes como calcio, fierro, manganeso o aluminio para formar superficies sólidas





de fosfato. El ciclo del fosfato mostrado en la siguiente figura muestra esas transformaciones:

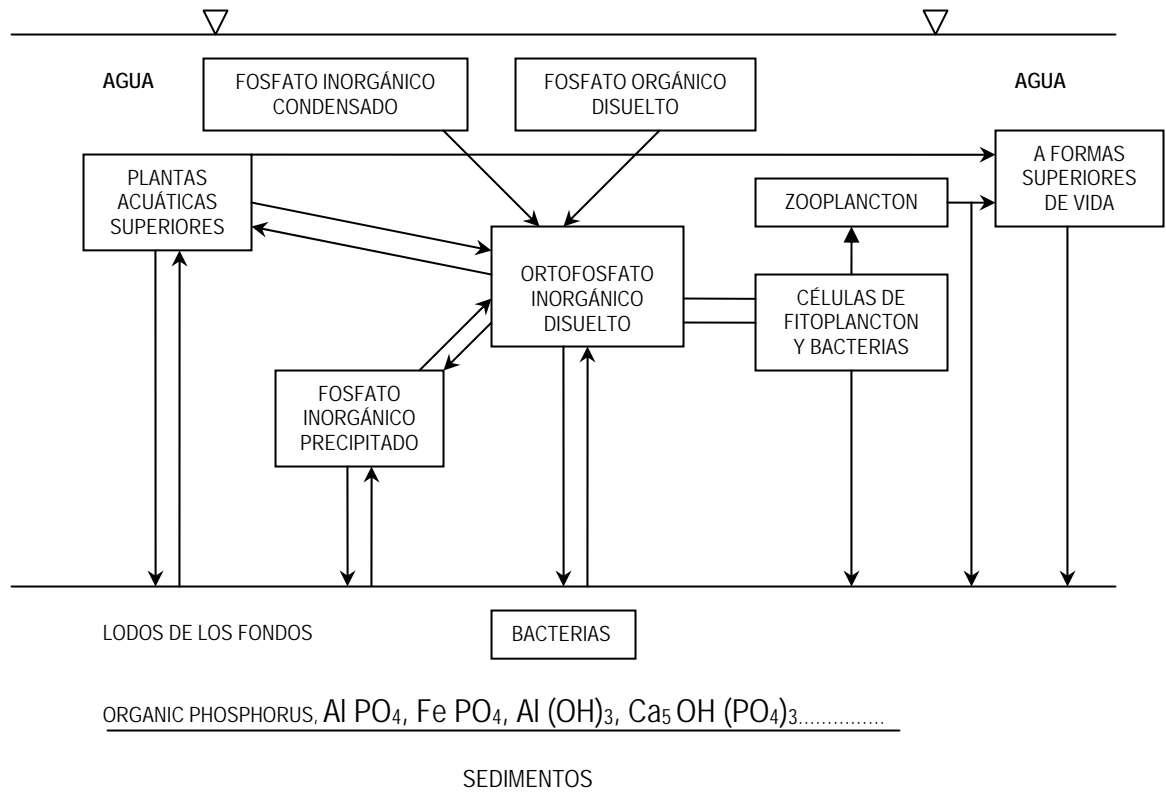


Figura 2.- Transformaciones del fósforo en un lago (Cutler, 1981)

Los agentes secuestrantes de fosfato a menudo comprenden una fracción apreciable de la formulación del detergente y pueden representar una entrada significativa al ambiente a menos que se tenga disponible un tratamiento avanzado de aguas residuales. La evaluación del impacto exacto de esta particular entrada al ambiente ha sido objeto de gran controversia durante los recientes años, particularmente con respecto al rol potencial de los fosfatos como nutriente limitante. El análisis de los elementos necesarios para el crecimiento de algas, indica lo siguiente:



- 1) El dióxido de carbono está disponible tanto en forma de producto de la respiración de organismos acuáticos, o por absorción atmosférica.
- 2) El nitrógeno está disponible tanto en agua de lluvia de arrastre proveniente centros urbanos o donde se practica la agricultura, como de productos de desecho de la respiración de organismos. Además de esto, ciertas especies de algas (por ejemplo, predominantemente algas verde-azules) las cuáles son capaces de fijar nitrógeno de la atmósfera.
- 3) Hidrógeno y Oxígeno están disponibles como iones o en forma molecular disuelta en sistemas acuosos.

En este contexto, el fosfato y las concentraciones requeridas de metales traza son consideradas como los más probables elementos limitantes con respecto al crecimiento de algas.

Por lo tanto, el argumento que ha sido frecuentemente dado, es que el contenido de fosfato de los detergentes sintéticos, ha servido para incrementar la frecuencia de floraciones de algas en aguas superficiales.

### **3.5 Corrosión**

Se entiende por corrosión la interacción de un metal con el medio que lo rodea para producir el deterioro de sus propiedades tanto físicas como químicas y la formación de compuestos estables similares a los que existen en la naturaleza. Una de las características fundamentales de este fenómeno es que sólo ocurre en presencia de un electrolito ocasionando regiones plenamente identificadas llamadas anódicas y catódicas.



### 3.5.1 Tipos de corrosión

Los tipos de corrosión se clasifican de acuerdo a la apariencia del metal corroído y dentro de las más comunes están:

**Corrosión uniforme:** donde la corrosión química o electroquímica actúa uniformemente sobre toda la superficie del metal

**Corrosión galvánica:** ocurre cuando metales diferentes se encuentran en contacto, ambos metales poseen potenciales eléctricos diferentes lo cual favorece la aparición de un metal como ánodo y otro como cátodo, a mayor diferencia de potencial el material más activo será el ánodo.

**Corrosión por picaduras:** aquí se producen hoyos o agujeros causados por agentes químicos.

**Corrosión intergranular:** es la que se encuentra localizada en los límites de grano, esto origina pérdidas en la resistencia que desintegran los bordes de los granos.

**Corrosión por esfuerzo:** se refiere a las tensiones internas luego de una deformación en frío.

### 3.5.2 Mecanismo de corrosión

Como ya se dijo la corrosión ocurre cuando un metal cambia a un estado más estable. El equilibrio para el proceso de corrosión esta determinado por:

1. La reacción de pérdida de electrones u oxidación catódica





2. El consumo de esos electrones o reducción anódica



3. La transferencia a través de un electrolito.

Si alguno de estos tres factores es detenido la corrosión no ocurrirá.

### 3.5.3. Factores que influyen en la corrosión

pH de la solución: la relación entre el pH y la velocidad de corrosión puede seguir alguno de los tres patrones descritos a continuación:

1. Los metales solubles en ácido, como el hierro, presentan una relación como se muestra en la figura 10, a pH medio (4 a 10) la velocidad de corrosión depende de la velocidad de transporte del oxidante a la superficie metálica. Para el caso del hierro, el cual es ligeramente anfotérico, a temperaturas muy altas la velocidad de corrosión aumenta con la basicidad, como muestra la línea punteada

2. Los metales anfotéricos como el aluminio y el zinc presentan un comportamiento como el que se muestra en la figura 11. Estos metales se disuelven fácilmente en soluciones ácidas o básicas.

3. Los metales nobles como el oro y el platino no son afectados apreciablemente por un cambio de pH.

Agentes oxidantes: los agentes oxidantes son con frecuencia aceleradores poderosos de la corrosión y en muchos casos, el poder oxidante de una solución es su propiedad simple más importante en lo que se refiere a corrosión. Algo muy importante



que se debe considerar acerca de los agentes oxidantes es que muchas veces pueden acelerar la velocidad de corrosión de un metal al tiempo que retrasan la de otro mediante la formación de óxidos en la superficie.

**Temperatura:** la velocidad de corrosión tiende a aumentar conforme se eleva la temperatura ya que este factor tiene una influencia directa en la solución de oxígeno en el aire y en la aparición de cambios de fase, que pueden introducir una segunda fase corrosiva.

**Velocidad:** un aumento de la velocidad del movimiento relativo entre la solución corrosiva y una superficie metálica tiende a acelerar la corrosión. Lo anterior tiene sentido si se considera que este es un fenómeno de transporte de masa en el que a mayor velocidad de llegada de productos oxidantes a la superficie metálica mayor será la corrosión y al mismo tiempo los productos formados son retirados evitando así el papel protector que pueden jugar.