

LIMPIEZA Y DETERGENTES EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

Jaime Sapag-Hagar*

Reseña de la Conf. dictada en la Sesión Ordinaria
de la Soc. Ch. de Tec. de Alimentos, el jueves 22 de julio de 1976

NATURALEZA E IMPORTANCIA DE LAS IMPUREZAS

La limpieza constituye una operación crítica en la industria alimentaria. Generalmente se tiende a considerar como impurezas o suciedad solamente a materias tales como tierra, pesticidas, microorganismos, grasas, carbohidratos, etc. Incluso modernamente se incluye también la contaminación superficial o profunda con isótopos radiactivos. Sin embargo, el hecho de que una sustancia se considere como impureza no depende, en general, de su estructura química o física sino de su *presencia inoportuna*. Así, cuando se vacía una mezcladora, la pequeña cantidad de producto que queda en el aparato se considera como impureza para la operación siguiente y no como consecuencia de su composición o textura, sino por la inoportunidad de su presencia en este momento en la mezcladora. La grasa lubricante no constituye impureza en una máquina, pero sí sobre una mesa.

Ciertos productos, especialmente líquidos, dan lugar a la formación de depósitos como consecuencia de la presencia de sustancias poco solubles o en estado coloidal inestable: materias proteicas y oxalato de calcio en la circulación de la cerveza; floculación de materias proteicas mezcladas con fosfato cálcico en el calentamiento de la leche; bitartrato potásico en el caso del vino. Otras veces la impureza puede originarse por la evaporación de pequeñas cantidades de producto que quedan en los recipientes, como ocurre en las bo-

tellas. Por su parte las materias primas que llegan a las fábricas contienen tierra, residuos de pesticidas, microorganismos, etc.

La presencia de residuos, además de influir negativamente en el aspecto, da lugar a desarrollos microbianos que afectan notablemente el gusto y olor dañando la calidad de los productos y son soporte para la atracción de insectos, roedores y larvas. Pero lo más grave es que muchas veces son peligrosos para la salud como consecuencia del desarrollo de microorganismos patógenos (como la *Salmonella*), de bacterias productoras de esporas termoestables con una toxina termolábil (*Clostridium botulinum*) o de bacterias termolábiles que dan toxinas termoestables (*Enterotoxina staphylococcica*). En algunos casos poco frecuentes, el desarrollo de estos microorganismos puede hacer que el consumo del alimento sea peligroso después de pocas horas de la contaminación. Hay que indicar que el desarrollo de bacterias peligrosas es imposible prácticamente en productos cuyo pH sea inferior a 4,5.

La superficie donde está depositada la suciedad se denomina *sustrato* (pisos, equipos, materias primas). Los sustratos rugosos, intersticios, juntas, válvulas, resquebrajaduras en revestimientos o tuberías de caucho o plástico, etc., son fuente frecuente de microorganismos no patógenos. Aparatos cuya desinfección ha sido incompleta pueden contaminar a muchos miles de kilos de líquido que pasan a su través en forma continua aun cuando la superficie de contacto sea inferior a 1 m². Este fenómeno se produce especialmente con líquidos cuya tensión superficial es inferior a la

*Prof. Laboratorio de Operaciones Unitarias, Facultad de Ciencias Químicas, U. de Chile.

del agua o a la de las soluciones de limpieza y desinfección.

Cómo se origina el ensuciamiento

Corresponde a un proceso espontáneo que da por resultado una disminución de la energía libre del sistema. Esto significa que durante la deposición de la suciedad se libera energía. Por tanto, para limpiar, es decir para invertir este proceso, hay que suministrar energía al sistema: energía mecánica (frotamiento) o calórica.

Detergente es toda sustancia que sola o mezclada reduce los requerimientos de trabajo o calor en el proceso de limpieza. Generalmente son mezclas complejas.

Detergencia es la limpieza o remoción de suciedad desde un sustrato por medio de un líquido.

Una sustancia puede presentar actividad detergente por mecanismos muy diferentes. Es así como tenemos: a) detergentes activadores de superficie (jabones, alquilsulfatos, alquil-arilsulfonatos, derivados de amonio cuaternario, etc.); b) los que degradan la suciedad sin ser tensoactivos (NaOH, ácidos); c) sinérgicos (polifosfatos); d) los que inhiben la redeposición (carboximetilcelulosa); e) abrasivos (que mejoran la eficiencia del trabajo aplicado).

Cómo se adhiere la suciedad al sustrato

El mecanismo es muy complejo y no está del todo aclarado. Mc. Bain atribuye gran importancia a los fenómenos de adsorción selectiva.

Etapas de un proceso de limpieza

Son esencialmente tres: 1) Separación de la suciedad desde el sustrato; 2) Dispersión de la suciedad en la solución detergente y 3) Prevención de la redeposición sobre el sustrato.

La separación de la suciedad desde el sustrato se puede conseguir por diferentes mecanismos, según sea el tipo de suciedad. Los azúcares simples, por ejemplo, son fácilmente solubles en agua. Las grasas y proteínas requieren de alcalinidad (NaOH). La mayoría de los detergentes compuestos contienen sustancias activadoras de superficie que reducen la tensión superficial estimulando la penetración de la solución detergente en los depósitos de suciedad y dando lugar a la desinte-

gración de las partículas en otras más pequeñas fácilmente dispersables (emulsificación en el caso de aceites y grasas). La energía necesaria para mantener este estado disperso se puede conseguir con un mezclador de alta velocidad o bien agregando un agente activador de superficie que hace que se obtenga el mismo efecto con sólo un 2 a 4% de la energía anterior.

NORMAS GENERALES PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL EQUIPO USADO EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA DESDE EL PUNTO DE VISTA SANITARIO

Son numerosas y están claramente establecidas debiendo ser respetadas por los fabricantes del ramo (E.E. U.U.). Entre ellas se pueden citar, a modo de ejemplo: a) el diseño debe dar seguridad al operario y asegurar la facilidad de limpieza y de reparación; b) no debe incluir partes de madera ni telas o gomas absorbentes; c) las superficies metálicas en contacto con los productos deben ser de acero inoxidable con acabado mínimo del tipo 2B; d) no deben dejarse agujeros ni soldaduras sin acabar; e) la parte horizontal más baja debe estar a lo menos a 6 pulgadas sobre el piso; f) no deben instalarse motores o mecanismos móviles sobre el producto a menos que se instale bajo él una bandeja; g) los desagües del equipo deben ir en el punto más bajo y no llevar anillos interiores, etc.

Velocidad de limpieza

Se considera que la velocidad instantánea de limpieza (d_m/d_o) es proporcional a la superficie sobre la cual se extiende la suciedad (A), a un coeficiente de facilidad de transferencia de materia (E_o) que es característico para cada sistema sustrato-solución detergente, y a la masa de impurezas (m) no eliminadas y adheridas a A. Tenemos así que $d_m/d_o = A E_o m$, ecuación que integrada nos lleva a que $\ln m_o/m = A E_o \theta$.

Al respecto las investigaciones son muy interesantes. Es así como se puede determinar experimentalmente los valores de E_o , por ejemplo para la leche, utilizando discos de acero inoxidable que se sumergen en leche hirviendo, marcada con P 32 y midiendo la radiactividad residual. Se puede estudiar también la influencia de una serie de factores en el pro-

ceso, como son la turbulencia de la solución detergente (favorable) sobre E_{60} , la temperatura (favorable), la concentración de OH^- (función de segundo grado) utilizando triestearina marcada con C 14, etc.

Tipos de detergentes de acuerdo al pH

1. *Detergentes fuertemente alcalinos.* Al 1% dan pH sobre 12. Son muy corrosivos y tienen elevado poder disolvente. Se formulan a base de NaOH y silicatos con relación $Na_2O : SiO_2$ elevada (orto y sequisilicatos). Deben manejarse con gran cuidado y por personal especializado. Efectivos para remover grasas y materiales proteicos. Pueden emplearse por el método *CIP* (cleaning in place), es decir, por circulación en circuito cerrado.

2. *Suavemente alcalinos.* Mucho menos corrosivos. Contienen uno o más de los álcalis metasilicato, fosfato trisódico, carbonato o pirofosfato tetrasódico. Llevan además agentes secuestrantes fosfatados y tensoactivos del tipo alquil-arilsulfonato.

3. *Neutros.* No son buenos para plantas de alimentos. Algunos llevan polifosfatos y agentes humectantes. Otros son a base de productos orgánicos sintéticos, incluyendo la carboximetilcelulosa para evitar la redeposición de la suciedad.

4. *Suavemente ácidos.* Poco corrosivos. Son a base de uno o más de los ácidos hidroxiaético, levulínico, glucónico y sulfámico. Llevan además agentes tensoactivos e inhibidores de corrosión (2-naftoquinolina, acridina, 9-fenil-acridina). Al igual que los fuertemente ácidos, eliminan los precipitados causados por aguas duras y los de Ca y Mg causados por los limpiadores alcalinos o fosfatos como el oxalato cálcico en las líneas de espinaca y ruibarbo.

5. *Fuertemente ácidos.* Algo corrosivos para la mayoría de los metales y tejidos. Deben manejarse con mucho cuidado por personal especializado. Pueden contener como ingrediente ácido clorhídrico, sulfúrico, nítrico o fosfórico junto con un inhibidor de corrosión (1% de metil-, etil-, o propil-amina para el HCl; 0,1-0,5% de cromato de K para el HNO_3 y el H_3PO_4 ; para el H_2SO_4 no hay inhibidor). Se les adiciona agentes humectantes.

Alcalinidad activa

Es la medida de la fuerza de la solución detergente. Se expresa como ppm de Na_2O . Prácticamente se establece titulando 50 ml de la solución detergente, en la concentración recomendada para su uso, con HCl 0,2 N y fenoltaleína como indicador. ppm $Na_2O = (1000) (31) (0,2) (ml \text{ ácido}) / 50$.

El NaOH tiene la alcalinidad activa más alta (76% Na_2O). Le siguen el ortosilicato de Na (46%), el sesquisilicato de Na (36%), el carbonato sódico (29%), el metasilicato sódico (28%), el sesquicarbonato de Na (13%), el fosfato trisódico (10%), el pirofosfato tetrasódico (8%), y el bicarbonato sódico (0%).

Para trabajos con manos en contacto, se recomienda 500-900 ppm Na_2O . Para exposiciones largas, 300 ppm o menos. Para lavado por recirculación (*CIP*), sin manos en contacto, 1000-1500 ppm. Para trabajo pesado, 2000-3000 ppm.

FACTORES A CONSIDERAR EN LA SELECCION DE UN DETERGENTE

FACTORES A CONSIDERAR EN LA SELECCION DE UN DETERGENTE

1. *Tipo de suciedad a remover.* Muchas veces basta con detergentes suavemente alcalinos. Los álcalis fuertes se usan para depósitos tenaces, grasas y aceites depositados, productos quemados o secos. Para depósitos alcalinos, oxalatos, durezas de agua se usan ácidos suaves.

2. *Superficie a limpiar.* Evitar dañarla o corroerla. El acero inoxidable es considerado la superficie más resistente, pero los cloruros lo atacan en parte. Tampoco debe usarse con él el HCl, sólo ácidos suaves. El Sn, Al, Cu y superficies galvanizadas son atacadas rápidamente por los álcalis y ácidos fuertes. Debe usarse álcalis moderados con gran contenido de metasilicato. Para el lavado de tarros y prevenir incrustaciones en los enfriadores se recomiendan los detergentes con fosfato trisódico (*TSP*) y polifosfatos y además metasilicato de Na. Maderas y tejidos se ablandan con los álcalis. Para las telas de filtros se recomiendan polifosfatos con un agente humectante. El vidrio y pinturas al óleo son atacadas por álcalis fuertes. Para la vajilla se formulan con un alto contenido de polifosfatos. Para gomas se puede usar cualquier detergente alcalino, no así los ácidos fuertes o solventes. Los pisos de concreto son atacados por los ácidos. Se recomiendan los detergentes con alto contenido en metasilicato.

3. *Concentración requerida.* Si un detergente no quita la suciedad en la concentración

recomendada no es siempre buena solución el aumentar la concentración, ya que ello conlleva un exceso de los otros ingredientes (agentes secuestrantes) que son la parte más cara. Sólo en sitios pequeños o en casos poco frecuentes puede ser más barato aumentar la concentración que molestarse con otro detergente y mantener stock de él.

4. *Método de aplicación.* En general, en caliente son más efectivos. Lavado a mano con cepillos, etc., sólo para álcalis débiles o neutros (se les agrega borato); pueden usarse también en spray o con pistola a vapor. Los álcalis y ácidos fuertes en método CIP (circuito cerrado) si la corrosión no es problema, o bien por remojo.

5. *Compatibilidad con el agua.* No debe depositar la dureza del agua (el NaOH, Na₂CO₃ lo hacen). Al usar agua dura es necesario que el detergente incluya en la fórmula un agente secuestrante.

6. *Disponibilidad y costo.* Para plantas alimentarias deben ser relativamente baratos y encontrarse fácilmente disponibles en el mercado, excepto si su eficiencia para una tarea especial de limpieza compensa la desventaja de su alto costo. La relación entre costo y eficiencia de varios detergentes se establece mediante tests comparativos.

7. *Número de materiales de limpieza.* Lo más conveniente es emplear el mínimo necesario. Generalmente basta con dos o tres. Es conveniente tenerlos en envases de diferente color y de forma tal que no haya que pesar para preparar las soluciones (tantos envases para un barril o para 1 m³ de agua, etc.).

Propiedades deseables en un buen detergente

1) Acción disolvente de la suciedad; 2) Poder secuestrante de los iones Ca y Mg; 3) Poder humectante; 4) Débil acción corrosiva sobre la superficie a limpiar; 5) pH alto o bajo según el uso; 6) Acción buffer adecuada; 7) Bajo costo en relación a la cantidad requerida.

El *poder secuestrante* de los detergentes se debe generalmente a los fosfatos presentes en la fórmula y la cantidad que llevan, depende de la dureza del agua en la cual se va a usar el detergente. La dureza debe eliminarse; además de ser desagradable a la vista, porque disminuye la transferencia de calor, favorece la suciedad, protege a las bacterias ocluidas y

porque el ión Ca y el ión Mg interfieren con la eficiencia de la mayoría de los agentes activos de superficie, aniónicos. Entre los agentes secuestrantes inorgánicos tenemos el tripolifosfato de sodio (STP), el pirofosfato tetrasódico (PYRO-TSPF), el tetrafosfato y el hexametáfosfato de sodio (Calgon). Entre los orgánicos citaremos los ácidos glucónico, cítrico, glucurónico y el etilendiaminotetraacético (EDTA) y sus sales (la tetrasódica o Versene y la trisódica o Versene-9 o Sequestrene). Son más caros que los polifosfatos, pero son más estables en soluciones fuertemente alcalinas. El PYRO-TSPF es apropiado también para soluciones detergentes fuertemente alcalinas; los polifosfatos para moderadamente alcalinas. El STP es el más estable en soluciones alcalinas calientes y el hexametáfosfato el menos estable.

El *poder humectante* de los detergentes deriva de agentes tensoactivos. Los hay iónicos, no iónicos y anfóteros. Los iónicos pueden ser aniónicos (jabones, alquilsulfatos, alquil-arilsulfonatos) o catiónicos (alquilaminas primarias, aminas etoxiladas, derivados de amonio cuaternario). Entre los no iónicos encontramos los derivados de condensación del óxido de etileno, ésteres de sorbitol o de sacarosa, monoglicéridos, ésteres de poliglicerol, dietanolamidas. Los de carácter anfótero presentan simultáneamente varios grupos aniónicos y catiónicos (Ej.: la dodecildiaminoetilglicina, que no provoca turbidez en la cerveza ni altera la estabilidad de la espuma). Los más usados son compuestos del tipo alquil-arilsulfonato o de alcoholes grasos sulfatados. Los primeros son más baratos. Los detergentes caseros generalmente llevan el 2º tipo. Debe tenerse en cuenta la estabilidad del agente humectante bajo las condiciones de uso. Algunos precipitan a pH 12. En general los humectantes son de poco valor en los detergentes fuertemente alcalinos.

Acción buffer y pH. El sesquicarbonato, polifosfato y metasilicato y en menor grado el carbonato, el fosfato trisódico y el bórax actúan como tampones en las soluciones de detergentes. Esto es importante pues algunos ingredientes precipitan a ciertos pH. Además, las soluciones detergentes destinadas a manejarse con las manos en contacto deben tener un pH menor que 11,4. Para ello se agrega bórax.

Formulación de detergentes alcalinos

Antes que nada debe establecerse: 1) Fuerza y fuente de alcalinidad deseada; 2) Poder secuestrante necesario y 3) Poder humectante deseado. Así, por ejemplo, las especificaciones para un detergente típico destinado a uso general de limpieza, pueden ser: alcalinidad activa, 800 ppm con los álcalis presentes como 50% metasilicato Na, 30% fosfato trisódico y 20% carbonato Na; poder secuestrante suficiente para captar 150 ppm de dureza cálcica, empleando hexametáfosfato sódico como agente secuestrante y un alquil-arilsulfonato como humectante suficiente para dar 120 ppm.

Existen gráficos especiales que permiten calcular rápidamente las ppm de álcalis y de alcalinidad activa en base al % del ingrediente en el polvo seco. Los valores están basados sobre una concentración de 1 onza de detergente por galón o solución al 0,75% (Ver Kramer & Twigg. Quality Control for Food Industry, pág. 401). También los hay para los agentes secuestrantes en relación a la dureza del agua.

Fabricación de las mezclas detergentes (polvo)

Debe trabajarse a escala grande para resultar económico. Los ingredientes deben tener todos un tamaño de partícula uniforme para evitar que se separen con el transporte y manejo. El tamaño debe ser adecuado: un polvo muy grueso demora más en disolverse y uno muy fino se levanta en el aire al manipularlo y perjudica al operador.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. HARRIS, J. C. Detergency Evaluation and Testing. USA. Interscience. 1954.
2. KENT, J. A. Riegel Química Industrial. España. Edit. Grijalbo. 1964.
3. KRAMER & TWIGG. Quality Control for Food Industry. USA. AVI Publishing Co. 1973.
4. LONCIN. Técnica de la Ingeniería Alimentaria. Madrid (España). Edit. Dossat. 1965.
5. NIVEN, W. Industrial Detergency. USA. Reinhold Publishing Corp. 1955.
6. SCHWARTZ-PERRY. Surface Active Agents and Detergents. USA. Interscience. 1966.