



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

Grado en Ingeniería Química

**Sistema de limpieza CIP en una industria
de fabricación de cerveza**

Autor:

Viruega Sevilla, David

Tutor:

**Rodríguez García, Félix J.
Departamento de Química Analítica**

Valladolid, junio de 2018

Con afecto a mi padre y
a mi madre, quienes
defienden que la mejor
herencia es una buena
educación.

Resumen

En este trabajo de fin de grado se abarca la necesidad de llevar a cabo la correcta higiene en una instalación de fabricación de cerveza. Mediante los sistemas *Cleaning in Place* (CIP) se pueden efectuar las operaciones de enjuagado, limpieza y desinfección de forma controlada y automática o semiautomática con la mínima intervención humana. Antes de justificar la implantación de un sistema CIP, ha de conocerse bien el proceso de elaboración de la cerveza, así como los aspectos microbiológicos que cobran importancia en la posible contaminación. Posteriormente se hace un análisis general de los agentes químicos de limpieza y desinfección, llegando a plantear efectuar conjuntamente estas operaciones. Descritas las generalidades de los CIP, se propone un diseño sin base de cálculo de un sistema CIP para una instalación cervecera de escala media a partir de todo lo anteriormente explicado y con diagramas en Microsoft Visio.

Palabras clave

Cerveza, suciedad, limpieza, desinfección, CIP.

Abstract

In this Work of End of Degree there is included the need to carry out the correct hygiene in an installation of manufacture of beer. By means of the systems Cleaning in Place (CIP) the operations of rinsed, cleanliness and disinfection would be carried out by controlled and automatic or semiautomatic way with the minimal human intervention. Before justifying the implantation of a CIP system, there must be known well the process of production of the beer, as well as the microbiological aspects that receive importance in the possible pollution. After that, there is done a general analysis of the chemical agents of cleanliness and disinfection, managing to consider effecting together these operations. Described the generalities of the CIP, it's proposed a single design without base of calculation of a CIP system for a beer installation on a medium scale average from everything previously explained and with graphs in Microsoft Visio.

Keywords

Beer, soil, cleaning, disinfection, CIP.

CONTENIDO

Introducción y objetivos.....	9
Capítulo 1: Elaboración de la cerveza	11
1.1. Breve historia de la cerveza.....	11
1.2. Materias primas.....	12
1.3. Proceso de elaboración de la cerveza.....	14
Materias primas y preparación de la malta	14
Maceración y filtración.....	15
Separación del mosto	16
Fermentación de la cerveza	17
Maduración y acondicionamiento final de la cerveza	17
Capítulo 2: Contaminación	19
2.1. Contaminación biológica	19
2.2. Microorganismos en las líneas de producción alimentarias	20
Levaduras	20
Mohos	21
Bacterias.....	22
2.3. Fisiología microbiana aplicada a la higiene alimentaria.....	24
Bacterias.....	25
Levaduras	25
2.4. Crecimiento microbiano	28
Cinética	28

El pH como factor de crecimiento microbiano	31
Aplicación de la desinfección	31
2.5. Microorganismos en la producción cervecera	33
Principales puntos de contaminación.....	37
Capítulo 3: Limpieza y desinfección	41
3.1. Necesidad de limpieza y desinfección.....	41
Los procesos biológicos	41
Limpieza	42
Desinfección	43
3.2. Clases de agentes de limpieza y desinfección.....	43
Agentes limpiadores.....	43
Desinfectantes.....	48
3.3. Frecuencia de duración y empleo	49
3.4. Orden de ejecución	50
3.5. Limpieza y desinfección combinadas	52
Ventajas e inconvenientes.....	54
Precauciones	55
Eficacia	56
Moléculas desinfectantes.....	58
Caso práctico: tanques de cervecerías.....	63
Capítulo 4: Sistemas CIP	65
4.1. Qué son y qué tipos existen.....	65
Concepto de CIP (Cleaning in Place)	65
Los diferentes tipos de sistemas CIP	67

Sistemas centralizados y centralizados	74
Secuencia de operaciones	76
Consideraciones generales en los sistemas CIP	79
4.2. Factores que determinan la eficacia	80
Concentración de detergente.....	80
Temperatura	81
Acción mecánica	83
Tiempo	84
Calidad del agua.....	85
4.3. Aplicación de los agentes. Métodos mecánicos.....	87
Introducción a la aplicación de los agentes de limpieza.....	87
Métodos mecánicos en la limpieza mediante sistemas CIP.....	88
Capítulo 5: Diseño de un sistema CIP	95
5.1. Estructura CIP más adecuada para el proceso	95
Tamaño de la instalación	95
Centralización o descentralización del sistema CIP	96
Discusión sobre el empleo repetido de las soluciones	96
5.2. Selección de los agentes de limpieza y desinfección	97
Justificación	97
Propiedades termodinámicas	100
Vertidos: las aguas residuales	102
Seguridad.....	104
5.3. Equipos e instrumentación del sistema CIP propuesto.....	104
Tanques de almacenamiento.....	105

Sistema de tuberías y otros equipos.....	106
Métodos mecánicos	107
Lazos de control durante el funcionamiento del sistema CIP	108
Secuencia CIP	109
Conclusiones.....	111
Bibliografía	113
Diagramas de instrumentación (P&ID)	
Anejos	
Anejo 1: Clasificación de las bacterias implicadas en productos alimentarios.	
Anejo 2: Propiedades del acero AISI 316.	
Anejo 3: Hojas de seguridad.	
Tabla 1: pH de crecimiento de algunos microorganismos.	31
Tabla 2: Espectro de actividad de los principales desinfectantes.....	32
Tabla 3: Sucesión de líquidos.....	52
Tabla 4: Etapas de limpieza y desinfección (Leveau y otros, 2002).	54
Tabla 5: Composición de los detergentes alcalinos (Leveau y otros, 2002). .	56
Tabla 6: Composición de los detergentes ácidos (Leveau y otros, 2002).	57
Tabla 7: Valores del pH para una solución detergente-desinfectante que contiene ácido peracético.....	61
Tabla 8: Composición de los detergentes utilizados en tanques de cervecería (Leveau y otros, 2002).....	64
Tabla 9: Ventajas de los sistemas CIP	66
Tabla 10: Inconvenientes de los sistemas CIP.....	67

Tabla 11: Temperaturas aplicadas en un sistema CIP en instalaciones industriales.	82
Tabla 12: Caudales y presiones a la salida de una bola de limpieza en tanques de orientación vertical (Guilbert, 1994).	84
Tabla 13: Dureza total del agua.	86
Tabla 14: Gases disueltos en agua y sus efectos.	87
Tabla 15: Comparación de compuestos ácidos inorgánicos.	98
Tabla 16: Propiedades termodinámicas de los agentes químicos.	101
Tabla 17: Comportamiento del acero inoxidable frente a los agentes químicos seleccionados.	102
Tabla 18: Parámetros de análisis de las aguas residuales.	103
Tabla 19: Tanques de almacenamiento del sistema CIP.	105
Tabla 20: Secuencia del sistema CIP propuesto.	109
Ilustración 1: Taller artesano en la edad media.	11
Ilustración 2: Malta.	12
Ilustración 3: <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	13
Ilustración 4: Lúpulo.	14
Ilustración 5: Louis Camille Maillard.	15
Ilustración 6: Proceso de elaboración de la cerveza.	18
Ilustración 7: La reproducción de las bacterias, la gemación.	19
Ilustración 8: <i>Penicillium</i>	21
Ilustración 9: <i>Streptococos</i>	22

Ilustración 10: Sarcina.....	23
Ilustración 11: Clostridium botulinum.....	23
Ilustración 12: Suciedad correspondiente a cada etapa.....	24
Ilustración 13: N-acetilglucosamina.....	25
Ilustración 14: Ácido N-acetilmurámico.....	25
Ilustración 15: Herman Phaff.	26
Ilustración 16: Curva de crecimiento microbiano.	29
Ilustración 17: Ácido láctico (ácido 2-hidroxiopropanoico).....	35
Ilustración 18: Diacetilo (Butano-2,3-diona).	35
Ilustración 19: Hipoclorito sódico.....	59
Ilustración 20: Peróxido de hidrógeno.	60
Ilustración 21: Estructura de un amonio cuaternario.....	61
Ilustración 22: Estructura del formaldehído.....	62
Ilustración 23: Estructura del glutaraldehído.....	62
Ilustración 24: Estructura del oxalato de calcio o etanodiato de calcio.....	63
Ilustración 25: Estructura del carbonato de calcio.	63
Ilustración 26: Sistema CIP de ebullición y descarga (Moerman y otros, 2002)..	68
Ilustración 27: Sistema CIP de camino único (Moerman y otros, 2014).	69
Ilustración 28: Sistema CIP de empleo no recuperable (Sani-Matic Inc.).....	70
Ilustración 29: Sistema CIP de empleo repetido (Sani-Matic, Inc.).	71
Ilustración 30: Sensor de conductividad de bajo caudal (Emerson Electric Co.).	73
Ilustración 31: Tanques de un sistema CIP (Gémina Procesos alimentarios S. L.).....	74

Ilustración 32: Bola de rociado estático (Armaturenwerk Höstensleben GmbH).	90
Ilustración 33: Dispositivos de rociado de burbuja (Moerman y otros, 2002).	90
Ilustración 34: Dispositivo rociador de racimo (Delavan Ltd).	91
Ilustración 35: Dispositivo giratorio de rociado a chorro (Delavan Ltd.)	92
Ilustración 36: Dispositivo giratorio a chorro.	93
Ilustración 37: Zona de fermentación de una instalación cervecera de escala media (cervezasenigma.com).	95
Ecuación 1: Cinética de crecimiento.	30
Ecuación 2: Ecuación de muerte microbiana.	43
Ecuación 3: Primera ley de Fick.	81
Ecuación 4: Ecuación de Arrhenius.	81
Ecuación 5: Ecuación de Arrhenius desarrollada.	82
Ecuación 6: Ecuación del número adimensional de Reynolds.	83

Abreviaturas

APA	Ácido peracético
CD	<i>Chemical draining</i>
CI	<i>Conductivity indicating</i>
CIP	<i>Cleaning in Place</i>
DBO	Demanda biológica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
E	Cambiador de calor
F	Filtro
FC	Controlador de flujo
FCV	<i>Flow control valve</i>
FI	<i>Flow indicating</i>
LG	<i>Level glass</i>
LSH	<i>Level switch high</i>
LSL	<i>Level switch low</i>
LT	<i>Level transmitter</i>
M	Motor
P	<i>Pump</i>
PI	<i>Pressure indicating</i>
PLC	<i>Programmable Logic Control</i>
PSV	<i>Pressure security valve</i>
TC	<i>Temperature controller</i>
TI	<i>Temperature indicating</i>
TIT	<i>Temperature indicating transmitter</i>
TK	Tanque
U	Unidad
UC	<i>Multivariable controller</i>
UCV	<i>Multivariable control valve</i>
UHT	<i>Ultra-high temperature</i>
UIT	<i>Multivariable indicating transmitter</i>

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El Trabajo de Fin de Grado sobre “*Sistema de limpieza CIP en una industria de fabricación de cerveza*” posee un carácter bibliográfico desde su proposición, aunque voluntariamente se ha procedido a complementar este trabajo con un diseño sin base de cálculo enfocado a una instalación de fabricación de cerveza de tamaño medio. Esta proposición no tiene otro fin que poner en práctica todo lo recopilado en la bibliografía para hacer crítica sobre cuáles son las condiciones óptimas para asegurar una correcta higiene en el proceso de elaboración de la cerveza mediante los sistemas CIP.

Para elegir adecuadamente estas condiciones, lo primero que debe hacerse es conocer el proceso de elaboración, así como los contaminantes propios de éste. Después, barajar todas las posibilidades en cuanto a agentes químicos que pueden ser utilizados, justificando las ventajas, inconvenientes, orden de ejecución y condiciones de operación. Por último, conocer en profundidad el propósito de los sistemas CIP, sus variedades en cuanto al diseño y cómo llevan a cabo su cometido.

Los objetivos de este Trabajo de Fin de Grado son:

- Desarrollar las aptitudes de búsqueda de bibliografía.
- Conocer la importancia de la higiene en la industria alimentaria.
- Valorar el uso de los sistemas *Cleaning in Place* (CIP).
- Adaptar los conocimientos generales de los sistemas CIP a un sector agroalimentario particular.

CAPÍTULO 1: ELABORACIÓN DE LA CERVEZA

Este capítulo es una introducción del producto para el que se necesita implantar un sistema CIP; la cerveza. Se abarca brevemente su origen, las materias primas necesarias y el proceso de elaboración.

1.1. BREVE HISTORIA DE LA CERVEZA

Los orígenes de la cerveza datan de hace 9000 años en Sudán, donde se identificaron restos de un cereal con evidencias de fermentación denominado *sorgo*.

En el año 4000 a. C. se menciona el *sikaru*, una bebida elaborada con granos fermentados. Ya en el 3000 a. C. en Mesopotamia, la cerveza era muy comercializada a la vez que usada en rituales. Esto propició su expansión por el viejo continente.

En Europa, el hallazgo más antiguo se encontró en Begues (Barcelona); un recipiente con restos de cereal malteado sobre el 3000 a. C.

Los primeros gremios cerveceros aparecen en el siglo XII, cuando la cerveza se usaba como complemento alimenticio a los peregrinos. Fue en la Edad Media precisamente cuando se incorporó el lúpulo en el proceso de elaboración, dotando a esta bebida de cierto amargor.



ILUSTRACIÓN 1: TALLER ARTESANO EN LA EDAD MEDIA.

El rey Carlos I de España fue quien introdujo con mayor ímpetu la cerveza a España, incorporando desde Austria una corte de maestros cerveceros. A finales del siglo XVI se instalaron las primeras fábricas en la ciudad de Madrid, pero no fue hasta el siglo XIX cuando las cerveceras dieron el salto. Actualmente la cerveza es una de las diez bebidas más consumidas en el mundo.

1.2. MATERIAS PRIMAS

Los ingredientes para la elaboración de la cerveza son fundamentalmente cuatro:

Agua. La identidad y calidad de la cerveza están marcadas por las características del agua. Si posee altos niveles de cloro, es posible que la cerveza llegue a estropearse.

Malta. Aporta a la cerveza los elementos nutritivos esenciales que configuran su cuerpo, espuma y color. Se obtiene por la germinación de los granos de cebada, que se humedecen hasta alcanzar su punto óptimo; luego se frena el proceso reduciendo su humedad hasta que se secan. El grado de tostado posterior de la malta influirá en el color final de la cerveza.



ILUSTRACIÓN 2: MALTA.

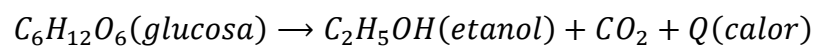
Levadura. Se trata de un microorganismo catalogado como hongo unicelular. Es el ingrediente que aporta las características particulares a la cerveza, de forma que, si a un mismo mosto se le agregan dos levaduras distintas, se obtienen dos cervezas diferentes.



ILUSTRACIÓN 3: SACCHAROMYCES CEREVISIAE.

Este microorganismo se alimenta de los azúcares fermentables de la malta para liberar dióxido de carbono, etanol y aromas.

La reacción que se lleva a cabo es:



Lúpulo. Es una flor de origen asiático. Dota a la cerveza de su carácter amargo, así como su aroma. Esta planta comenzó a utilizarse en su elaboración en el S. IX con la función de higienizar y conservar la cerveza. Evita la contaminación microbiana.



ILUSTRACIÓN 4: LÚPULO.

1.3. PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA CERVEZA

MATERIAS PRIMAS Y PREPARACIÓN DE LA MALTA

La primera etapa es el malteado, donde el grano de la cebada (malta) es sumergido en un volumen de agua caliente a 25°C durante varias horas. Durante el transcurso de ese tiempo, la humedad experimenta un crecimiento desde un 12% hasta el 50% final (Ward, 1989). Cuando el grano está en remojo se lleva a cabo la germinación en un rango de temperatura de entre 15 y 21°C, en función del tipo de malta escogido, en tambores o en compartimentos de suelo perforado, controlando la humedad y el flujo de aire, con lo que se producen diversos enzimas hidrolíticos, entre ellos la α -amilasas, bioglucanasas y peptidasas que conducen a la degradación enzimática de hemicelulosa, β -glucano, péptidos y algo de almidón. La β -amilasa, ligada a otras proteínas en la cebada no germinada, se libera durante este proceso. Una vez logrado el grado de modificación deseado, la malta se seca hasta que su contenido de humedad sea de aproximadamente el 6% inicialmente a una temperatura de 65°C, y después a 80-85°C para reducir aún más su humedad, hasta el 4,5%, con lo que se detienen los procesos respiratorios de la germinación, se inhibe el crecimiento microbiano y se fomenta la reacción de Maillard, que contribuye a dar el aroma y color oscuro a la malta (Ward, 1989).



ILUSTRACIÓN 5: LOUIS CAMILE MAILLARD.

MACERACIÓN Y FILTRACIÓN

Durante la etapa de maceración, las materias primas se extraen con agua, con lo que se solubilizan, hidrolizan enzimáticamente y extraen del cereal los hidratos de carbono y otros nutrientes necesarios para la fermentación mediante un calentamiento controlado.

La mayoría de los sistemas de maceración corrientes se clasifican bajo los epígrafes de sistemas de infusión o de cocción o como una combinación de ambos (Ward, 1989).

- En la maceración por infusión, empleando malta bien elaborada, el grano se introduce en una cámara de maceración, cuyo fondo está constituido por una placa filtrante, parcialmente llena de agua caliente, a una temperatura que se mantiene constante a unos 65°C para permitir la conversión enzimática y la extracción del mosto. A continuación, el mosto se separa por filtración y la masa que sale se deshace para lavar los azúcares residuales hasta que el peso específico del líquido que sale es de 1,005.
- En los sistemas de cocción, la harina se macera a una temperatura menor, cuyo valor aproximado es de 50°C. Ya macerado, el mosto es separado de la masa mediante una cámara de clarificación o mediante un filtro de placas.

La temperatura óptima de las proteasas, α -amilasa, β -amilasa y β -glucanasa de la malta marca las condiciones del proceso de maceración. Cuando el proceso se realiza por infusión, la temperatura de la masa favorece la actividad de la amilasa y la β -glucanasa, siendo más satisfactoria con las maltas bien modificadas en las que durante el malteado ya se ha producido una degradación proteica considerable (Ward, 1989).

Si el proceso se realiza mediante cocción, las temperaturas iniciales suelen ser de 50-55°C para que la actividad proteolítica sea óptima, a 63-65°C para la mejor degradación posible del almidón y los β -glucanos y a 73°C para la separación del mosto.

SEPARACIÓN DEL MOSTO

Ya clarificado el mosto, se hierve durante hora y media para conseguir favorecer, según Ward (1989):

- La inactivación de las enzimas.
- La esterilización del mosto.
- La precipitación de las proteínas y los taninos.
- La extracción de sustancias amargas derivadas del lúpulo.
- La producción de color, aroma y sabor debido a la caramelización del azúcar, la formación de melanoidina y la oxidación de los taninos.
- La destilación de los compuestos volátiles.

Durante la ebullición del mosto se forma un precipitado proteico que debe ser separado, al igual que el lúpulo ya agotado y el resto de sólidos. Una vez efectuada la separación, el mosto se enfría mediante la acción de un intercambiador de calor de placas hasta que se alcanza la temperatura inicial de la fermentación y se airea hasta que la concentración de oxígeno disuelto sea entre 5 y 15 mg/L para favorecer la síntesis de ácidos grasos insaturados y esteroides por las levaduras.

FERMENTACIÓN DE LA CERVEZA

El mosto es inoculado con levadura hasta que se consiguen aproximadamente 10^7 células por mililitro. En el transcurso de la fermentación, el pH parte de un valor aproximado de 5,2 y decae una unidad. Esto es debido a la formación del ácido acético, consecuencia de la oxidación del acetaldehído.

Aproximadamente tres cuartas partes de los azúcares fermentables que forman parte de los hidratos de carbono que contiene el mosto se convierten en etanol a lo largo de la fermentación. El resto, consiste en dextrinas superiores no susceptibles de ser atacadas por las amilasas de la malta debido a la presencia de enlaces glicosídicos α -1,6 (Ward, 1989).

MADURACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO FINAL DE LA CERVEZA

Antes del almacenamiento y posterior distribución, la cerveza recién fermentada debe pasar por ciertos procesos. Se entiende por maduración una segunda fermentación consecuencia de las levaduras residuales de la anterior fermentación, llevada a cabo en otro fermentador. El dióxido de carbono que se produce en esta última fermentación, o bien si se ha añadido, contribuye a la purga de oxígeno contenido en la cerveza, así como sulfuro de hidrógeno y compuestos volátiles no deseados.

Dependiendo del tipo de cerveza, se establecen unos valores predeterminados de tiempo y temperatura, aunque normalmente se dan condiciones de temperatura reducidas de entre 2 y 6°C, en un período de almacenamiento que puede llegar a las 4 semanas.

Llevado a cabo el acondicionamiento, el último paso es separar aquellos componentes indeseables en el producto, como son las células microbianas, proteínas o sustancias coloidales mediante procesos de floculación, centrifugación y filtración. Para conseguir la estabilidad microbiana se somete a filtración estéril y/o pasteurización.

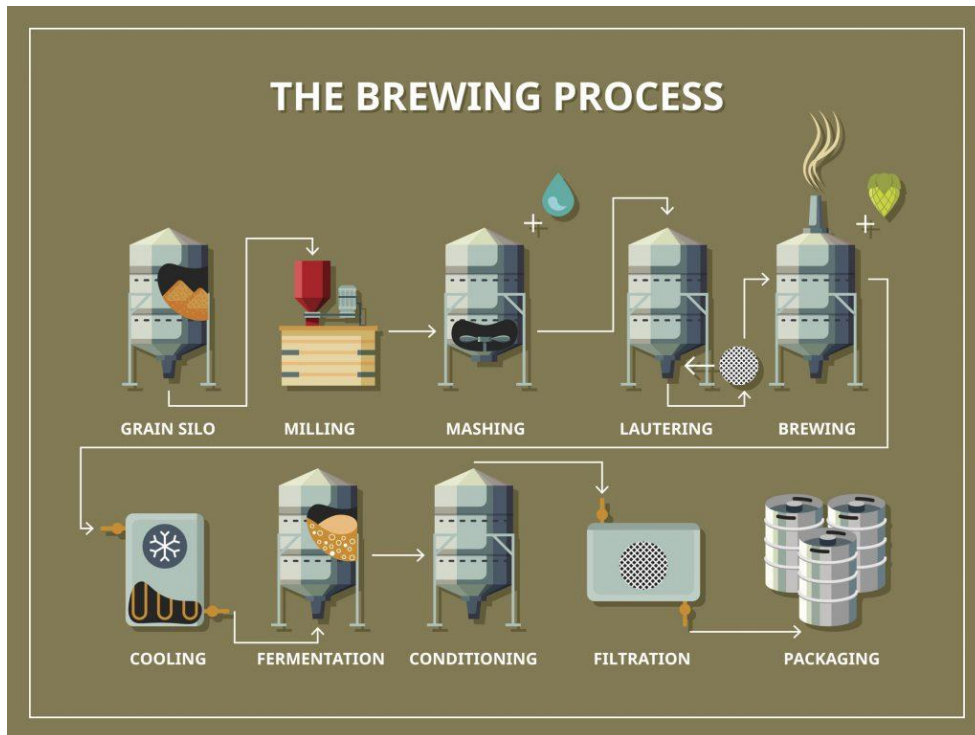


ILUSTRACIÓN 6: PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA CERVEZA.

CAPÍTULO 2: CONTAMINACIÓN

En este capítulo se aborda todo tipo de contaminación que puede producirse en la industria alimentaria. Conociendo cuáles son los agentes contaminantes, es más fácil diseñar la estrategia de limpieza.

2.1. CONTAMINACIÓN BIOLÓGICA

El interés en el sector alimentario por evitar accidentes debido a la acción microbiológica es muy conocido. Concretamente, en la industria cervecera los microorganismos tienen un papel indiscutible.

La seguridad en la industria alimentaria puede asumirse como un reto. En el comercio internacional, es invocada frecuentemente para reforzar las barreras al producto importado. Tiene un papel esencial en la prevención de enfermedades de origen alimentario y en consecuencia participa en el control de los costes sanitarios.

Los microorganismos poseen una capacidad extraordinaria para reproducirse. Cuando las condiciones para la reproducción son favorables, la biocontaminación se multiplica.

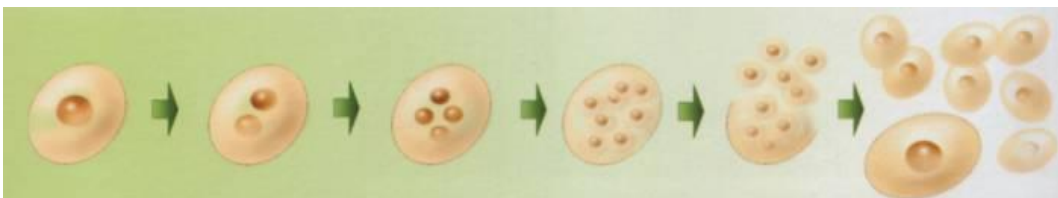


ILUSTRACIÓN 7: LA REPRODUCCIÓN DE LAS BACTERIAS, LA GEMACIÓN.

Entonces se concibe el control de la biocontaminación, conociendo las condiciones de esta reproducción con el objetivo de eliminarla, o al menos limitar sus efectos.

La estrategia de control de riesgo microbiológico se debe integrar de forma óptima en los diferentes procedimientos que implican la prevención del riesgo de biocontaminación, en concreto, la inhibición, destrucción y eliminación de los microorganismos (Leveau, y otros, 2002).

La eliminación de los microorganismos es una operación muy concurrencia, sobre todo para conservar los productos alimentarios. El conocimiento de los métodos de esta eliminación es importante con el objetivo de optimizar los resultados. Es imperativo tener presente la formidable resistencia de las endosporas bacterianas.

El control de la biocontaminación industrial implica de forma directa tanto la higiene de las superficies de los equipos como de las instalaciones de producción.

2.2. MICROORGANISMOS EN LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN ALIMENTARIAS

Los microorganismos de los productos naturales y de los alimentos son en su gran mayoría levaduras y mohos de tamaño microscópico. Algunos productos alimentarios pueden contener parásitos tales como virus o protozoos que pueden dar lugar a enfermedades.

Las levaduras y los mohos pertenecen al reino vegetal. La diferencia que presentan es su estructura celular.

En los dos casos se trata de células eucariotas (ausencia de núcleo celular), pero las levaduras están al menos en una etapa de su ciclo biológico bajo forma unicelular, mientras que los mohos son hongos microscópicos filamentosos, constituyendo el micelio el conjunto de los filamentos o hifas (Leveau, y otros, 2002).

LEVADURAS

Las levaduras no constituyen un grupo de micetos bien definidos. En algunas especies de levaduras, tras la reproducción por yemas, las células

quedan unidas formando filamentos denominados pseudomicelios. Las levaduras están presentes de forma natural sobre los frutos, mientras que el suelo no es un hábitat favorable. Tienen una buena aptitud para metabolizar los azúcares de débil peso molecular en aerobiosis (respiración) o en anaerobiosis (fermentación) (Leveau, y otros, 2002).

Aquellas que pertenecen al género *Saccharomyces*, son los organismos escogidos para las fermentaciones alcohólicas, donde destaca la industria cervecera.

MOHOS

Los mohos que normalmente se encuentran en la industria alimentaria pertenecen a tres clases. Los Zigomicetos o Ficomicitos son los más primitivos. Los filamentos en forma de tubos en tabiques de separación están principalmente constituidos por quitina y encierran una masa citoplásmica móvil que contiene numerosos núcleos (Leveau, y otros, 2002).

Rhizopus y *Mucor* son géneros que están frecuentemente implicados en la alteración de ciertos productos como el queso de pasta blanda.

Estos mohos tienen un poder de secreción de enzimas importantes que les confiere una gran capacidad de degradación de la materia orgánica (Leveau, y otros, 2002).

Los mohos que pertenecen a las clases de los Ascomicetos y de los Deuteromicetos que tienen en común una estructura apocítica, cuyos filamentos micelianos son en este caso tabicados. Los principales organismos que se encuentran habitualmente pertenecen a los géneros *Penicillium*, *Aspergillus*, *Neosartoya*, forma perfecta de *Aspergillus* y *Byssochlamys* (Leveau, y otros, 2002).

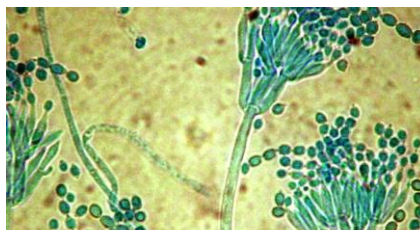


ILUSTRACIÓN 8: PENICILLIUM.

BACTERIAS

Las bacterias ocupan un puesto privilegiado en las preocupaciones del técnico encargado de la higiene.

El riesgo de contaminación para un producto alimentario es permanente a lo largo de la cadena alimentaria y durante los procesos de transformación.

La propiedad común de todas las bacterias es su estructura celular procariota caracterizada principalmente por la ausencia de membrana celular. No pertenecen ni al reino animal ni al vegetal.

A la hora de considerar su morfología, se encuentran dos tipos principales de células: las células esféricas denominadas cocos y las células cilíndricas denominadas bacilos.

En todos los casos, el tamaño de las células es del orden de la micra para el diámetro de los cocos, mientras que la longitud de los bacilos es de 2 a 3 micras, pudiendo incluso sobrepasar estas dimensiones (Leveau, y otros, 2002).

Dependiendo del modo de división celular, se observan asociaciones de células típicas de cada especie. Cuando la división celular se lleva a cabo en un plano, se observa en el caso de los cocos células agrupadas a pares, los diplococos, en las cuales las células pueden no ser completamente esféricas. Tras varias fases de división, la agrupación comprende varias células ordenadas en cadenas, tal y como se presentan los estreptococos.

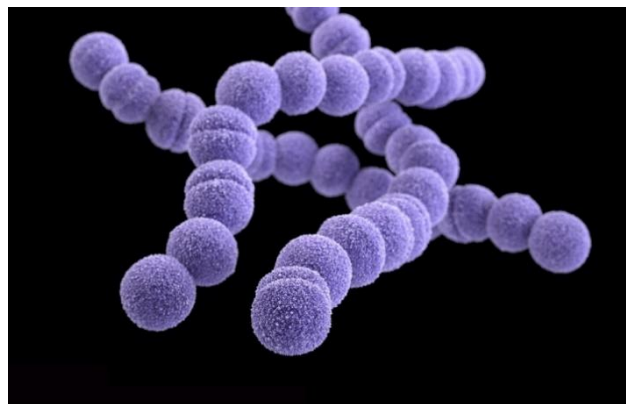


ILUSTRACIÓN 9: ESTREPTOCOCOS.

Algunas bacterias poseen dos o tres planos de reproducción perpendiculares dos a dos. Esto conduce a grupos de cocos de cuatro en un plano tetraedro o de ocho dispuestas en las caras de un cubo. Las sarcinas son un tipo de bacterias que se encuentran en algunas alteraciones de la cerveza (Leveau, y otros, 2002).

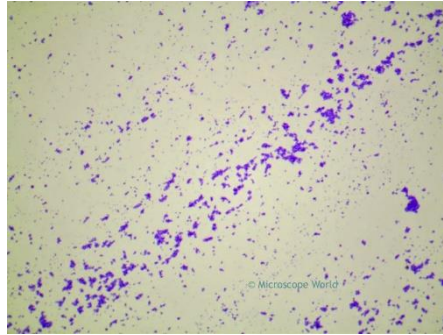


ILUSTRACIÓN 10: SARCINA.

La agrupación de células más frecuente es la disposición en fibra de dos células, diplobacilo, o de más de dos, estreptobacilo.

Las bacterias que no son capaces de reproducirse más que en presencia de oxígeno se denominan aerobias estrictas. Aquellas que por el contrario sí pueden, son las anaerobias. Existe un gran número de bacterias que pueden desarrollarse en ambas condiciones, entonces reciben el nombre de aerobias-anaerobias facultativas.

Un ejemplo de éstas últimas son las que pertenecen al género *Clostridium*, que no poseen equipamiento enzimático para reducir el oxígeno y que cultivadas en aerobiosis son eliminadas por efecto del peróxido de hidrógeno ya que no pueden eliminarlo.



ILUSTRACIÓN 11: CLOSTRIDIUM BOTULINUM.

Las bacterias microaerófilas por ejemplo, demandan ambientes gaseosos particulares en los cuales la presión parcial de oxígeno sea inferior al que se tenga en el aire sin ser nulo (Leveau, y otros, 2002).

2.3. FISIOLÓGÍA MICROBIANA APLICADA A LA HIGIENE ALIMENTARIA

Las características que definen un compuesto situado alrededor de las células microbianas tienen una gran importancia en la higiene de la industria alimentaria.

En el proceso de elaboración de la cerveza existen numerosas etapas, explicadas en el apartado 1.3. Cada etapa requiere un grado de limpieza específico, caracterizado por la aparición de un tipo de suciedad que determina los agentes a emplear con el objetivo de evitar la contaminación del producto, haciendo hincapié en los fermentadores (Salo, y otros, 2008). En la ilustración 12 se representa la suciedad característica en las etapas del proceso.

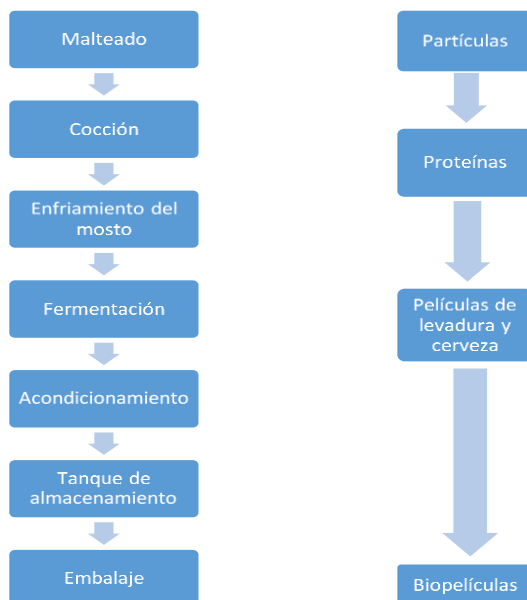


ILUSTRACIÓN 12: SUCIEDAD CORRESPONDIENTE A CADA ETAPA.

Los microorganismos de relevancia en los procesos de la industria alimentaria (levaduras, mohos y bacterias) están provistos de una pared protectora frente a agresiones de tipo mecánico y químico.

BACTERIAS

El principal compuesto de la pared bacteriana es el peptidoglicano, formado por cadenas unidas de glicano mediante péptidos. Asimismo, el glicano está formado por el encadenamiento de dos moléculas, N-acetilglucosamina y ácido N-acetilmurámico, además de su éster láctico, unidos mediante enlaces β -1,4. Este conjunto se caracteriza por tener una gran cohesión.

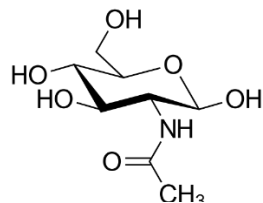


ILUSTRACIÓN 13: N-ACETILGLUCOSAMINA.

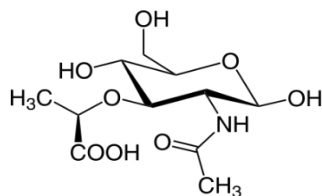


ILUSTRACIÓN 14: ÁCIDO N-ACETILMURÁMICO.

LEVADURAS

La pared de las levaduras constituye entre el 15 y el 25 por ciento del peso de las células (Leveau, y otros, 2002).

La pared de las levaduras está formada principalmente por tres compuestos polisacáridicos: los glucanos, los mananos y la quitina (Phaff, 1971).

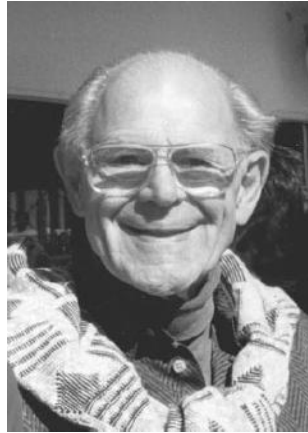


ILUSTRACIÓN 15: HERMAN PHAFF.

La pared de la *S. Cerevisiae* expone tres capas: una capa externa densa a los electrones, una capa central menos densa y una capa más densa en el borde de la membrana citoplasmática (Phaff, 1971).

La mayor parte de los estudios sobre las levaduras han sido enfocados hacia la especie *Saccharomyces Cerevisiae*.

LOS GLUCANOS

Son un tipo de polisacáridos formados por unidades monómeras del monosacárido D-glucosa unidos entre sí mediante enlaces glucosídicos. Entre estos se encuentran polisacáridos como el glucógeno, el almidón y la celulosa, que ejercen funciones de almacenamiento energético o forman estructuras en la célula.

Para las paredes de las levaduras del género *Saccharomyces* supone del 30 al 60 por ciento del contenido (McMurrough, y otros, 1967) (Bacon, 1973).

LOS MANANOS

Son los compuestos de mayor presencia en las levaduras. Se les puede denominar como fosfomanoproteínas, y desempeñan función de estructura de pared o de enzima.

Los mananos estructurales están distribuidos en la superficie de la pared, aunque su función no ha sido precisada (Leveau, y otros, 2002).

Schmitt y Radler (1987, 1988) han mostrado que el receptor primario de la toxina killer de las *Saccharomyces Cerevisiae* es una fracción manoproteica.

En esta levadura pueden representar hasta un 50% de la pared y están constituidos en un 90% de manosa y el resto por proteínas (Leveau, y otros, 2002).

LA QUITINA

Es un polisacárido lineal formado a partir de residuos de N-acetil glucosamina sintetizada durante el crecimiento celular.

Está presente en muy reducidas cantidades (inferiores al 1%) en la pared de la *Saccharomyces cerevisiae* (Bacon, 1981).

Se localiza en las paredes laterales y debe de estar íntimamente ligada a los demás polisacáridos porque es imposible obtener preparaciones de quitina sin glucano ni manano, aunque las estructuras no están definidas aún (Fleet, 1991).

LAS PROTEÍNAS

La parte correspondiente a las proteínas según varios autores es complicada de cuantificar. Comprende las proteínas ligadas a los mananos y las enzimas localizadas en la pared (Bacon, 1981).

LOS LÍPIDOS

Según (Bacon, 1981) las levaduras no tienen fracción lipídica. Por otro lado, (Fleet, 1991) determina cantidades de lípidos en torno al 5% del peso seco en pared.

2.4. CRECIMIENTO MICROBIANO

Para poder establecer un control durante un proceso industrial donde intervienen microorganismos es necesario conocer las modalidades de su crecimiento.

CINÉTICA

Las levaduras y las bacterias, organismos unicelulares eucariotas y procariotas respectivamente, se reproducen por fisión y por gemación. Durante el crecimiento celular se presencia un aumento de la cantidad de células.

Las dos células bacterianas resultantes de la célula origen tras la fisión son idénticas entre sí. En cambio, durante la gemación de las levaduras, las células resultantes no son necesariamente idénticas, siendo una la célula madre y la otra la célula hija (Leveau, y otros, 2002). En algunas especies de levaduras y en determinadas condiciones, las células quedan unidas, formando filamentos llamados pseudomicelios.

Cuando se produce la inoculación de un microorganismo en un medio de cultivo o en un producto alimenticio, en condiciones favorables, la evolución del crecimiento sigue una trayectoria similar a la ilustración 16.

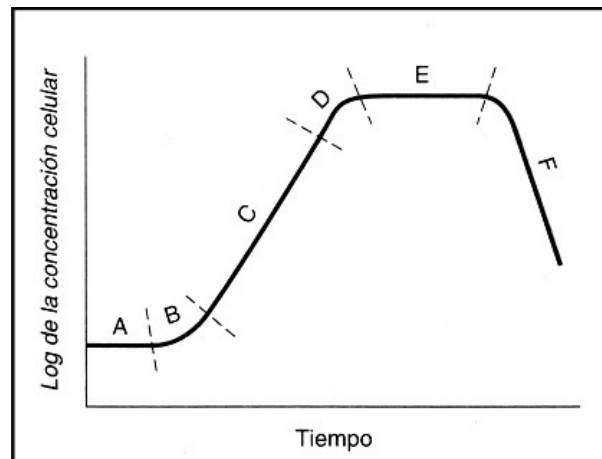


ILUSTRACIÓN 16: CURVA DE CRECIMIENTO MICROBIANO.

A. FASE DE LATENCIA

Corresponde al momento justo después de la inoculación. Se trata de un período de adaptación al medio durante el cual las células sintetizan los enzimas necesarios para metabolizar el sustrato.

No existe reproducción celular, por lo que la velocidad de crecimiento es nula.

B. FASE DE ARRANQUE

En esta etapa comienza la reproducción celular. La concentración de células aumenta de forma progresiva, al igual que la velocidad.

C. FASE EXPONENCIAL DE CRECIMIENTO

El ritmo de reproducción de esta etapa es rápido, por lo que el tiempo de generación es mínimo. Factores como la temperatura o el pH influyen en esta etapa dependiendo del tipo de microorganismo.

Según Leveau y otros, (2002), el aumento exponencial de la concentración celular resulta del hecho de que la velocidad de crecimiento aumenta en proporción a la concentración celular.

ECUACIÓN 1: CINÉTICA DE CRECIMIENTO.

$$\frac{dX}{dt} = \mu_m \cdot X \quad [1]$$

Donde:

- X es la concentración celular [=] unidades.
- μ_m es la velocidad específica [=] h⁻¹.

Resaltar que el valor de la velocidad específica en esta etapa es constante y alcanza su máximo.

D. FASE DE RALENTIZACIÓN

El crecimiento exponencial se ralentiza cuando la cantidad de sustrato disminuye. Corresponde también con la acumulación simultánea de productos de excreción del metabolismo, que pueden actuar como inhibidores. La etapa termina en un punto de inflexión donde se indica que la velocidad específica se reduce.

E. FASE ESTACIONARIA

El valor de la concentración celular alcanza su punto álgido y permanece constante. Las células conservan actividad metabólica y su estructura bioquímica sufre modificaciones.

F. FASE DE DECRECIMIENTO

La concentración de células disminuye a consecuencia de la ausencia del sustrato por lo que la tasa de mortalidad se eleva considerablemente y se observan fenómenos de autólisis bajo la acción de los enzimas celulares.

EL PH COMO FACTOR DE CRECIMIENTO MICROBIANO

A través de los estudios de Carlier (1983), Jay (1992) y Buchanan & Philips (1990) se pueden recoger en la tabla 1 los distintos valores de pH en el medio de cultivo que marcan el crecimiento microbiano.

TABLA 1: PH DE CRECIMIENTO DE ALGUNOS MICROORGANISMOS.

Microorganismos	Mínimo	Óptimo	Máximo
Hongos	1,5-3,5	4,5-6,8	8-11
Levaduras	1,5-3,5	4-6,5	8-8,5
Bacterias	4,5	6,5-7,5	11

Mozes et al. (1987) descubrieron que la levadura puede formar una densa capa que se adhiere al acero inoxidable y/o aluminio con valores de pH de 3 a 5-6.

APLICACIÓN DE LA DESINFECCIÓN

La adhesión de los microorganismos a una superficie inerte puede reforzar la resistencia a los desinfectantes. El proceso de desinfección eficaz exige la aplicación dentro de las condiciones de uso del desinfectante.

La eficacia de un desinfectante está ligada a su aplicación, debiendo penetrar en la célula microbiana o espora, por lo que sobrepasará las barreras protectoras (Leveau, y otros, 2002).

Los desinfectantes actúan por lo general a bajas concentraciones y en soluciones a las que se le han añadido sustancias auxiliares. Así, los agentes tensoactivos consiguen un mejor contacto entre el desinfectante y los microorganismos, ya que la tensión superficial disminuye.

Guyander (1996) elaboró una tabla donde recoge el espectro de actividad de los principales desinfectantes para cada microorganismo. La tabla 2 hace hincapié en bacterias, levaduras y mohos.

Las bacterias Gram positivas (+) y las Gram negativas (-) es una clasificación que las diferencia en su respuesta al etanol para hacerlas visibles. Las Gram+ actúan impermeables al etanol, mientras que las Gram- sí que tienen afinidad por este compuesto. La clasificación se encuentra en el Anejo 1.

TABLA 2: ESPECTRO DE ACTIVIDAD DE LOS PRINCIPALES DESINFECTANTES.

Desinfectantes	Bacterias Gram+	Bacterias Gram-	Mohos	Levaduras
Ácido peracético	+++	+++	++	++
Alcoholes	++	++	++	++
Alcoholes de 70°	++	++	+	++
Glutaraldehído	+++	+++	+	++
Amonios cuaternarios	+++	+	+	+
Anfóteros	+++	+	+	+
Biguanidina	++	++	(+)	(+)
Clorhexidina	+++	++	+	+
Cloro	+++	+++	++	++
Derivados de Hg	++	++	+	+
Agua oxigenada	+++	+++	+	+
Yodo	+++	+++	++	++

+++ : muy buena actividad, ++ : buena actividad, + : actividad media, (+) : actividad no constante.

2.5. MICROORGANISMOS EN LA PRODUCCIÓN CERVECERA

Dado que existen microorganismos que pueden mezclarse con la cerveza en cualquier etapa del proceso de elaboración, es fundamental proceder a la limpieza y desinfección de los equipos.

En un metro cúbico de aire pueden existir hasta diez millares de microorganismos que, en ambientes de mucha humedad y calor, pueden llegar a multiplicarse.

Aquellos que sobrevivan al proceso de elaboración de la cerveza no son de carácter patógeno. Lo que significa que, aunque estén contaminando el producto final, no constituyen un riesgo para la salud humana.

Algunos de los microorganismos que están presentes en el aire, en el agua o en las materias primas, tienen la capacidad de adaptarse a las condiciones del proceso de elaboración de la cerveza.

Su crecimiento en la cebada y en la malta, antes y después de la fermentación, libera metabolitos que afectan a la estabilidad y a las cualidades organolépticas del producto final. Incluso, algunos de estos microorganismos son capaces de desarrollarse durante esta etapa.

No pueden adaptarse y convertirse en contaminantes, puesto que existen adversidades durante el proceso:

- El mosto se hierve durante hora y media aproximadamente.
- La fermentación se realiza a temperaturas bajas.
- El pH en el mosto y la cerveza comprende valores ácidos.
- El lúpulo tiene acción antiséptica. Es decir, antimicrobiano.
- Durante la fermentación prevalecen condiciones de anaerobiosis.
- El etanol está presente tanto en la masa de fermentación como en la cerveza.
- La cerveza, por lo general, se somete a un proceso de pasteurización.

Pese a las adversidades descritas, diversos géneros bacterianos, algunos mohos y levaduras salvajes son capaces de superarlas y establecerse como contaminantes.

A continuación, se exponen algunos géneros bacterianos habituales en el proceso, junto con sus cualidades morfológicas y fisiológicas.

Género Lactobacillus

Bastones largos Gram+, microaerófilos, asporógenos (no forman esporas), catalasa negativa. Crecen entre 11 y 45°C. Son tolerantes a los antisépticos del lúpulo. Por oxidación del etanol producen ácido láctico y ácido fórmico.

Provocan agriado y turbidez sedosa de la cerveza.

Género Achromobacter

Bastones Gram+, anaerobios facultativos, asporógenos, catalasa positivos. Toleran valores de pH ácidos y los antisépticos del lúpulo. Se destruyen a temperaturas de 60°C en 5 minutos.

Además de turbidez provocan olor y sabor repugnantes.

Género Pediococcus

Cocos Gram+, anaerobios, asporógenos, catalasa negativos. Son tolerantes a los ácidos, pero su pH óptimo oscila entre 5 y 6. Producen ácido láctico y diacetilo.

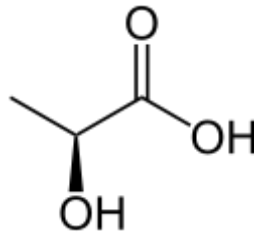


ILUSTRACIÓN 17: ÁCIDO LÁCTICO (ÁCIDO 2-HIDROXIPROPANOICO).

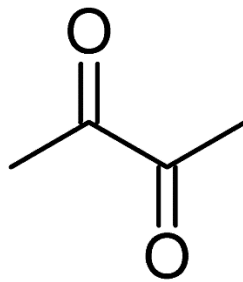


ILUSTRACIÓN 18: DIACETILO (BUTANO-2,3-DIONA).

Género Acetobacter

Bastones Gram-, aerobios, asporógenos, catalasa positivos. Crecen entre 5-40°C. Son tolerantes a los antisépticos del lúpulo. Las especies responsables del agriado oxidan el etanol a ácido acético y finalmente a dióxido de carbono y agua.

Género Gluconobacter

Bastones Gram-, aerobios, asporógenos, catalasa positivos. La especie *G. Oxidans* produce ácido acético a partir de etanol. Algunas cepas son capaces de crecer en la cerveza embotellada gracias al escaso contenido de aire del cuello de las mismas y su crecimiento da la apariencia de sogas o cuerdas.

Género Zimomonas

Bastones Gram-, anaerobios, asporógenos, catalasa negativos. Tolerantes al alcohol (lo producen). Provocan turbidez y sabores de fondo.

Familia Enterobacteriaceae

Todos sus géneros y especies se presentan como los bastones cortos Gram-, anaerobios facultativos, asporógenos, catalasa positivos. Son sensibles a pH iguales o menores a 4,2 y etanol. Por lo general se presentan como contaminantes del mosto y en las primeras etapas de la fermentación. Provocan infección en la levadura y desarrollan olores y sabores desagradables.

Incluso algunas levaduras pueden actuar como contaminantes de la cerveza. Son las llamadas “levaduras salvajes”.

Se considera levadura salvaje aquella que no es deliberadamente utilizada o no está bajo control. De esta forma se incluyen tanto las perjudiciales como las inocuas sin efectos detectables.

Constituyen la parte más complicada del control microbiológico, ya que se dificulta su diferenciación de las levaduras seleccionadas para el proceso como son: *Saccharomyces cerevisiae* y *Saccharomyces carlsbergensis*.

Para la diferenciación se han sugerido numerosas formulaciones de medio de cultivo. Dentro del género de *Saccharomyces*, la diferenciación de estirpes es prácticamente imposible mediante técnicas de cultivo y sólo los métodos inmunológicos resultan precisos. En ocasiones el test de esporulación resulta muy útil ya que las estirpes cerveceras no son capaces de esporular a diferencia del resto de *Saccharomyces*.

Dentro de las levaduras salvajes, las más importantes son algunas especies de *Saccharomyces* como *S. uvarum*, *S. diastaticus* y *S. pastorianus*. Las mismas son responsables de exceso de gas y turbidez.

Las levaduras salvajes son capaces de crecer durante la fermentación y en la cerveza acabada, representando un problema especial en la alteración de la cerveza acondicionada para barril.

Por último, los mohos no constituyen contaminantes directos de la cerveza, sí de la cebada, cereales aditivos y la malta. Los metabolitos que se producen durante su crecimiento, más adelante pueden ser fuentes de sabores desagradables de fondo y provocar la rápida evolución de dióxido de carbono al disminuir la presión.

La flora normal de la cebada incluye géneros como *Fusarium*, *Helminthosporium* y *Alternaria*. Durante el almacenaje, cuando la humedad es superior a 13,2%, germinan las esporas y se desarrollan *Aspergillus* y *Penicillium*.

PRINCIPALES PUNTOS DE CONTAMINACIÓN

A continuación, se enumeran las zonas más probables de contaminación dentro del proceso de elaboración de la cerveza.

MATERIAS PRIMAS

El agua utilizada en las cervecerías debe ser microbiológicamente pura. Este criterio se sustenta en dos resultados: determinación de coliformes y conteo total de microorganismos.

El primero acredita que el agua está exenta de contaminación fecal; el segundo que la carga microbiana está dentro de los parámetros establecidos.

Es común la presencia de *Pseudomonas*, *Acinetobacter* y *Alcaligenes* y coliformes saprófitos como *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Hafnia*.

Estas bacterias constituyen una fuente de contaminación en las cervecerías y pueden desarrollarse de forma rápida en el mosto. Raras veces en la propia cerveza debido al bajo pH y el contenido en etanol.

Pueden producir derivados fenólicos y sulfurados que afectan al sabor final de la cerveza.

Si tras el almacenaje de la cebada y la malta no ha habido control estricto de la humedad (inferior al 13%) va a producirse contaminación por diversas especies de *Aspergillus* y *Penicillium*. Los granos pierden entonces su olor característico.

Estos mohos producen micotoxinas que, en otras condiciones pueden constituir un riesgo para la salud. Sin embargo, se ha demostrado que pueden ser degradadas durante el proceso de producción, por lo que no son un peligro para la salud; aunque sí afectan a la calidad del producto final.

El lúpulo posee componentes que ejercen acción bacteriostática sobre bacterias Gram+. Sin embargo, cuando se almacena en lugares húmedos se promueve el crecimiento de hongos.

MOSTO

El mosto constituye un medio ideal para la mayoría de las bacterias Gram- y algunas Gram+ tolerantes a los antisépticos del lúpulo. Nunca debe almacenarse a temperaturas por debajo de los 55°C por breve que sea el tiempo antes de inocular.

Bacterias como *Lactobacillus delbrueckii* pueden contaminar el mosto, multiplicarse rápidamente a temperaturas de 50-60°C y provocar acidez. Otras bacterias como las mencionadas dentro de la familia *Enterobacteriaceae*, al desarrollarse en el mosto producen derivados sulfurados y fenólicos que afectan al sabor final de la cerveza.

FERMENTACIÓN

Realizada la inoculación, si no se utiliza cultivo puro, se incorporan al mosto toda una gama de levaduras salvajes y bacterias. Entre estas últimas merece especial atención *Obesumbacterium proteus*. Se introduce al ámbito cervecero a través del agua y se adapta rápidamente a las condiciones de la instalación.

Crece en los primeros estadios de la fermentación hasta que los descensos del pH y el incremento en la concentración de etanol le resultan adversos.

Al incrementarse su concentración retarda el proceso de fermentación al elevar el pH de la cerveza. Influye en su sabor al producir compuestos sulfurados.

Otra especie, *Enterococcus agglomerans*, tiene un comportamiento similar. Las enterobacterias y otras Gram-, se inhiben rápidamente durante la fermentación. A no ser que ya existiera un crecimiento abundante antes de la inoculación, su efecto es poco significativo en la cerveza.

En los procesos en los que se recupera la levadura de la superficie, *Obesumbacterium proteus* constituye un problema al unirse a éstas. No sucede igual con las otras Gram-.

Acetobacter y *Gluconobacter*, aunque pueden aislarse en esta etapa, su crecimiento se ve afectado por las condiciones de anaerobiosis.

Lactobacillus y *Pediococcus*, también aisladas durante esta etapa, han de competir con la levadura, la cual se presenta en mayor concentración.

El diacetilo que producen (0,1 g/L) es reducido por las levaduras a butano-2,3-diol que, para que afecte al sabor debe aparecer en concentraciones de 500 ppm.

La levadura cervecera, para que pueda cumplir con su cometido, ha de presentarse pura. Este estado ideal no siempre se pierde por contaminación con levaduras salvajes.

La propia levadura cervecera puede perder sus cualidades debido a la aparición de mutantes. Esto constituye un problema pues las mismas pueden estar mejor adaptadas, pero perder sus cualidades fermentativas.

La aparición de cepas salvajes puede tener su origen en las materias primas, en el aire o en la propia instalación cervecera. Como el sustrato es el mismo, compiten con la levadura cervecera e intentan superarla.

Algunas son muy pequeñas y dificultan la filtración, otras pueden secretar exoenzimas que afectan la atenuación o producen ésteres y compuestos fenólicos que alteran el sabor.

ALMACENAJE

Previo al embotellamiento, o cuando ya éste se ha efectuado, pero existieron errores de filtración o pasteurización, puede producirse contaminación.

El número de bacterias que pueden constituir problema a este nivel es reducido debido a:

- El bajo pH.
- La presencia de etanol.
- La ausencia de hidratos de carbono fermentables.
- Las condiciones de anaerobiosis.

Sin embargo, las bacterias acidolácticas como *L. brevis* y *P. damnosus* pueden conseguirlo. Su mayor afectación es el sabor ya que la producción de diacetilo, al no haber levaduras en suspensión, no puede ser reducida y confiere un sabor similar a la mantequilla.

Las bacterias acéticas, debido a la anaerobiosis, no causan en general problemas en esta etapa. Sin embargo, *G. oxidans*, con escaso aire presente en el cuello de las botellas, crece, produce ácido acético y altera el aspecto del producto.

Otros contaminantes a este nivel pueden ser las levaduras salvajes. Forman películas superficiales y provocan turbidez, además de producir ésteres que influyen en el sabor.

CAPÍTULO 3: LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN

En este capítulo se responde a la pregunta de por qué es necesario limpiar y desinfectar en la industria agroalimentaria. Se describen los agentes químicos que pueden ser candidatos para limpiar y desinfectar en el proceso de elaboración de la cerveza, incluso se plantea la posibilidad de combinar las etapas.

3.1. NECESIDAD DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN

La preocupación por la higiene en las industrias agroalimentarias es una constante entre los responsables de producción. El alimento ha de cumplir con las exigencias en cuanto a calidad del cliente y también de las leyes de mercado.

Es imprescindible:

- Que la materia prima sea de buena calidad.
- Una adecuada higiene del ambiente y del personal.
- Limpiar y desinfectar el equipamiento que entrará en contacto con el alimento.

La limpieza y la desinfección son tan importantes como la producción.

LOS PROCESOS BIOLÓGICOS

En los procesos biológicos industriales se producen reacciones biológicas y bioquímicas igual que en la naturaleza. Se persigue el máximo rendimiento, por lo que estos procesos pueden ser manipulados.

La preparación de cerveza es uno de los procesos denominados como “bioprocesos clásicos”, al igual que ocurre con la obtención del vino. Ambos son ejemplos de los procesos de fermentación, donde los microorganismos tienen un papel fundamental.

A escala industrial, estos procesos son rentables únicamente en ausencia de gérmenes, razón por la que se aplican estrictas medidas de higiene. La instalación debe estar exenta de toda fuente de reacciones parásitas antes de que tenga lugar la producción.

En todo proceso biotecnológico de producción, la limpieza y la desinfección son parte esencial de éste. Es importante diferenciar entre ambos términos.

LIMPIEZA

En términos generales se entiende como la separación más completa entre, como mínimo, dos sustancias que están unidas físicamente. Dicha separación debe ser permanente, y que tras separar una de las sustancias, la otra queda limpia.

Según Mittal (1979), se puede decir que una superficie está limpia cuando:

- No perjudica los procesos subsiguientes.
- Garantiza la futura integridad del producto que contacte con esa superficie.

De forma estricta, se puede decir que limpiar es la culminación de lavar y enjuagar. Lavar es la eliminación de la suciedad de superficies rugosas mediante tratamiento con soluciones acuosas frías o muy calientes independientemente de la duración. Por otro lado, enjuagar consiste en eliminar la suciedad de superficies lisas mediante sistemas acuosos.

A diferencia de limpiar y lavar, en el enjuagado se parte de la premisa de que la suciedad presenta escasa adherencia. En la producción de cerveza, parte de la suciedad yace emulsionada.

DESINFECCIÓN

La desinfección tiene como objetivo la obtención de una superficie biológicamente limpia. De forma más detallada, se define la desinfección como la adecuada eliminación de determinados microorganismos nocivos mediante actuación sobre su metabolismo o estructura con objeto de impedir su transmisión.

No debe confundirse con esterilización. Ésta última se produce cuando el proceso debe llevarse a cabo de forma aséptica, es decir, en ausencia total de microorganismos.

A través de una ecuación de primer orden se puede estimar la velocidad de destrucción de los microorganismos en presencia de un desinfectante:

ECUACIÓN 2: ECUACIÓN DE MUERTE MICROBIANA.

$$\frac{dN(t)}{dt} = -k_D \cdot N(t)$$

Donde:

- $N(t)$ es el número de microorganismos de una especie por unidad de superficie en un instante.
- K_D es el factor letal. Depende de la resistencia del microorganismo a la molécula desinfectante a una temperatura determinada.

3.2. CLASES DE AGENTES DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN

AGENTES LIMPIADORES

El cometido de la limpieza es separar sustancias indeseables (suciedad), sobre todo residuos de productos de las superficies que contacten con alimentos (Wildbrett, 2000).

Mediante la limpieza, las superficies ensuciadas deben pasar a un estado en el que puedan volverse a utilizar repetidas veces sin límite, por lo que ha de evitarse la alteración del alimento en la próxima producción.

Además, la limpieza es útil para preservar la calidad, impidiendo deterioros en las instalaciones debido a la suciedad corrosiva. Una limpieza eficaz siempre actúa en beneficio de una desinfección subsiguiente.

La limpieza húmeda es la más empleada en la industria alimentaria. El agua es el medio limpiador por excelencia. Sin embargo, en ocasiones puede no resultar determinante en prácticas habituales. Por consiguiente, es necesaria la adición de sustancias químicas que optimizan el proceso de limpieza.

Los agentes limpiadores pueden presentarse como sustancias químicas básicas (lejías) o como preparados mixtos que elabora un fabricante. Éstos últimos pueden estar formados por una sustancia base, como puede ser la lejía de sosa, y por un concentrado de sustancia activa. Ésta consta preferiblemente de sustancias que fijan los elementos químicos que endurecen el agua y por ténsidos, que evita que se formen espumas. Destacar que la formación de espumas durante la limpieza es indeseable en la elaboración de la cerveza.

Un proceso de limpieza podría desglosarse en las siguientes etapas (Moerman, y otros, 2014):

1. Desplazamiento de la suciedad orgánica e inorgánica del equipo a través de reacciones químicas y procesos físicos.
2. Dispersión de la suciedad en la solución empleada.
3. Prevención de reposición de la suciedad.

El primer paso consiste en la aplicación de un agente con excelentes propiedades de mojado para reducir la tensión superficial del medio y para ayudar a la penetración dentro de la suciedad a través de los poros.

En segundo lugar, se requiere un detergente químico con poder emulsionante para recoger aquello que es insoluble hacia una suspensión en la superficie libre.

Por último, para evitar que la suciedad vuelva a depositarse, lo realizado en los pasos anteriores debe tener su prolongación en el tiempo.

El agente limpiador, o detergente, será escogido en función de su efectividad a la hora de eliminar la suciedad pertinente. Debe cumplir además algunos requisitos (Moerman, y otros, 2014):

- Ser efectivo contra un amplio abanico de suciedades.
- Excelente capacidad de mojado.
- Potencial para mantener la suciedad en suspensión dentro de la solución de limpieza.
- Limpieza óptima a baja concentración.
- Tolerancia a la dureza del agua.
- No debe ser tóxico.
- Ha de ser seguro para su manipulación por personal cualificado.
- Compatible con todos los materiales, no habiendo peligro de corrosión.
- Lo menos agresivo posible con el medio ambiente.
- Su concentración debe poder medirse mediante sensores.
- Bajo coste.

Se puede hacer una clasificación la cual incluye tres tipos: detergentes ácidos, alcalinos o neutros.

ALCALINOS

Normalmente se usan para eliminar la suciedad orgánica. Moerman (2003) enumera los componentes para formular un detergente alcalino.

- Hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido de potasio (KOH). Poseen por igual un alto poder de hidrolizar las grasas y las proteínas. El hidróxido de potasio es menos utilizado debido a su alto coste.
- Silicatos, fosfonatos, fosfatos y citratos (p. ej. De sodio): potencian que la suciedad quede suspendida en la superficie de la solución de limpieza. Se les conoce vulgarmente como 'builders' (constructores).

Son sales minerales que, además, inactivan los iones responsables de la dureza del agua por precipitación o por intercambio iónico.

- Agentes de superficie. Esenciales en los productos de limpieza ya que aportan las propiedades mojantes, espumantes, detergentes, dispersantes, solubilizantes y antiespumantes en función de su estructura. Leveau y otros (2002) los clasifica en 4 familias:
 - Aniónicos. Se caracterizan por el hecho de que la parte de la molécula responsable de los fenómenos de superficie está cargada negativamente. No suelen usarse porque generan espuma rápidamente.
 - Catiónicos. En estos compuestos, la parte de la molécula responsable de los fenómenos de superficie está cargada positivamente.
 - No iónicos. Son aquellos compuestos que no dan lugar a iones en solución acuosa. Muy utilizados a la hora de formular un detergente.
 - Anfóteros. Se comportan en medio alcalino como aniónicos y en medio ácido como catiónicos. Debido a su efecto microbicida, pueden usarse como complemento de los no iónicos. Cuando alcanzan el punto isoeléctrico, las propiedades que presentan son interesantes.
- Secuestrantes. Compuestos orgánicos multifuncionales que tienen la propiedad de fijar los iones alcalinotérreos responsables de la dureza del agua y los metales, evitando su precipitación o disposición sobre las superficies. Mejoran la eliminación de la suciedad inorgánica. Son ejemplos el ácido hidroxil-1-etanodifosfórico (HEDP), el ácido etilendiaminotetracético (EDTA) y el ácido glucónico.
- Agentes oxidantes. Por ejemplo, los hipocloritos y el peróxido de hidrógeno contribuyen con su poder oxidante a la eliminación de la suciedad insoluble. Algunos como el hipoclorito de sodio puede presentar inconveniente frente a la corrosión del acero inoxidable.
- Inhibidores de corrosión. Los polisilicatos o fosfonatos son añadidos al detergente para evitar la corrosión de los aceros inoxidables.

NEUTROS

Se usan en circunstancias en las que los detergentes basados en los hidróxidos (de sodio o potasio) presentan acción corrosiva frente al aluminio o superficies galvanizadas. Para obtener un pH entre 6 y 8, se reemplazan los hidróxidos por otros componentes que se citan a continuación.

- Fosfatos, fosfonatos y citratos. Su capacidad de mojado y emulsión es superior al de los hidróxidos anteriormente citados. Por el contrario, son más caros de adquirir.
- Enzimas tales como proteasas, lipasas y amilasas. Pueden eliminar proteínas tenaces en depósitos, grasas y almidón.

ÁCIDOS

Las soluciones alcalinas son incapaces de eliminar la suciedad debida a depósitos minerales, y a mayores pueden contribuir a agravar el problema. En la industria cervecera, especialmente tras la etapa de fermentación, las instalaciones CIP (Capítulo 4) usan soluciones ácidas.

Esto es debido a que el dióxido de carbono formado durante la fermentación rompe las moléculas de NaOH y KOH a carbonato de sodio (Na_2CO_3) y de potasio (K_2CO_3) respectivamente. Estos carbonatos tienen el peligro de precipitar.

Además, la pérdida de dióxido de carbono contribuye a una caída de presión dentro del fermentador que eleva el riesgo de implosión.

Un detergente ácido debe encontrarse cerca de un pH final de 2,5 en la solución final, causando el mínimo daño posible por corrosión. Normalmente, éstos se formulan a partir de ácidos inorgánicos, ácidos orgánicos o sales ácidas, a menudo con adición de otros componentes.

- Los ácidos inorgánicos, tales como el nítrico o el sulfúrico, son ácidos fuertes, pero a la vez corrosivos y peligrosos en su tratamiento.
 - El ácido nítrico (HNO_3) puede eliminar suciedad inorgánica tales como los sólidos generados de la producción de leche o cerveza. Son frecuentes a la hora de limpiar evaporadores e intercambiadores de calor.

Un inconveniente del ácido nítrico es su contribución a la eutrofización de las aguas residuales.

- El ácido sulfúrico es corrosivo frente al acero inoxidable en su forma esencial y debe ir acompañado de inhibidores de corrosión. Además, el uso de este ácido debe de estar limitado a 40°C de temperatura. Alto nivel de sulfato en las aguas residuales puede producir daños a la instalación de tratamiento de aguas.
- El ácido fosfórico es muy efectivo. Sin embargo, muchos países deben aportar una tasa relativa a la cantidad de este ácido que utilizan, debido a que también contribuye a la eutrofización.
- Los ácidos orgánicos tales como el fórmico, acético, cítrico o tartárico son mucho menos agresivos que otros ácidos a partir de minerales. Además, son menos corrosivos y menos peligrosos de manipular.
 - Un ácido orgánico comúnmente utilizado es el ácido peracético. No genera espumas y es efectivo como desinfectante y como detergente.

Sin embargo, tiene un olor desagradable y puede causar corrosión. Además, si se vierte en alta concentración puede ocasionar problemas en la planta de tratamiento de aguas residuales.

DESINFECTANTES

Los desinfectantes tienen como función combatir adecuadamente los microorganismos (Wildbrett, 2000). Para una desinfección exitosa, se ha de limpiar previamente la superficie de los equipos que han sido objeto de eliminación de suciedades. Los desinfectantes deben suministrarse en las cantidades adecuadas.

Atendiendo a su efectividad bioquímica, las sustancias desinfectantes se describen desde el punto de vista toxicológico como:

- Principios activos destructivos, en los que la desnaturalización de la sustancia orgánica es clave.

- Principios activos inhibidores, en los que destaca una acción específica sobre el metabolismo.

Pueden participar en la solución varios principios activos. Roshner (2005) agrupa los agentes químicos que pueden actuar como desinfectantes:

- Desinfectantes oxidantes. En este grupo se citan ejemplos como hipocloritos, ozono, ácido peracético o peróxido de hidrógeno. Su poder oxidante elimina los microorganismos.
- Desinfectantes no oxidantes. Se trata de los amonios cuaternarios y algunos alcoholes. Son capaces de eliminar o inactivar los microorganismos mediante complejas reacciones que se producen tanto dentro como fuera de las células.

También el formaldehído y los fenoles podrían incluirse pues son muy efectivos. Por contra son muy tóxicos, producen irritaciones y malos olores.

- Ácidos, bases y sales que son dirigidas a obtener un pH óptimo requerido para actuar como biocida, evitar la corrosión o para dar estabilidad a la solución desinfectante.
- Agentes de superficie aniónicos o no iónicos que mejoran el mojado.

3.3. FRECUENCIA DE DURACIÓN Y EMPLEO

Dependiendo del grado de ensuciamiento, se establecerán unos patrones de frecuencia y duración de las soluciones limpiadoras.

Existen dos formas de efectuar la limpieza:

- A líquido perdido o líquido de un único uso.
- A líquido recuperado o de reutilización.

En el caso de la limpieza a líquido perdido, la solución se prepara para cada ocasión y después es desechada. Esto es frecuente cuando la solución se ensucia de tal manera que pierde efectividad. Un ejemplo es el cloro activo, una solución que contiene principios activos con gran capacidad de reacción. Sólo se utiliza una vez porque la sustancia germicida se descompone.

Si una vez efectuada la limpieza la solución muestra efectividad, puede almacenarse en un depósito retirado para ser reutilizada. Antes de eso, debe ser revisada añadiéndole medio limpiador concentrado para compensar la pérdida de eficiencia consecuencia de la dilución de un enjuague y la reacción con la suciedad. Esta opción recibe el nombre de limpieza con líquido recuperado. Permite ahorrar en consumo hídrico y en producción de aguas residuales, aunque para ello se necesitan dispositivos adicionales como válvulas, depósitos, sistema dosificador y una zona de tratamiento de líquido recuperado.

Tanto la limpieza a líquido perdido como a líquido recuperado tienen una gran importancia a la hora de la selección de las unidades de un sistema CIP (Capítulo 4).

Entre el empleo una o varias veces de una solución limpiadora está el empleo de soluciones usadas para el enjuagado previo (Wildbrett, 2000).

Con objeto de regenerar las soluciones de limpieza, se pueden dar varias opciones:

- En un depósito de forma cilindro-cónica se separa la suciedad mediante un grifo de purga.
- Se procede a retirar la suciedad mediante centrifugado.
- Uso de membranas para separar la suciedad que es soluble.
- En una instalación especial de regeneración de lejías, se añaden a la solución limpiadora sustancias precipitantes, floculantes y oxidantes, correctoras de la composición de la solución a regenerar (Keller, 1988). Las suciedades disueltas precipitan o se adhieren a partículas floculadas, pudiendo separarse posteriormente mediante sedimentación o filtración.

La duración del empleo de las soluciones varía en función del volumen de la instalación, así como el tipo de producto alimenticio.

3.4. ORDEN DE EJECUCIÓN

Normalmente la limpieza se inicia con un enjuagado, bien con agua o con solución limpiadora reutilizada de una limpieza anterior. Con este

enjuagado previo se consigue reducir la carga de suciedad de la subsiguiente solución limpiadora, lo que permite ahorrar principio activo limpiador.

En el enjuagado previo, se suceden uno o varios pasos con uno o varios medios químicos diferentes (Wildbrett, 2000). Cuando la limpieza consta de varias fases, las etapas de enjuagado deben eliminar los residuos de la solución ensuciada, bien se haya utilizado una alcalina o una ácida alternamente. El último paso es un enjuagado con agua potable que debe cumplir con las exigencias microbiológicas.

Existe la posibilidad de efectuar la limpieza y la desinfección de forma conjunta, lo que permite ahorrar tiempo y energía. Se puede llevar a cabo siempre y cuando los resultados de higiene sean satisfactorios. Esto se expone en el apartado 3.5.

Puede distinguirse dos tipos de limpieza: la monofásica y la polifásica. La primera se lleva a cabo con una solución muy ácida o muy alcalina. La alcalina es la predominante, puesto que en la industria alimentaria hay que eliminar suciedades de almidón, grasa y proteína.

Las soluciones ácidas se emplean para eliminar depósitos minerales, como por ejemplo la costra resultante en la elaboración de la cerveza. El inconveniente aparece cuando se dan suciedades orgánicas, donde una limpieza monofásica ácida resulta insuficiente.

En las limpiezas monofásicas se utilizan agentes distintos. Generalmente, a una limpieza ácida le precede una limpieza alcalina. Es extraño invertir el orden de ejecución Agua-Ácida-Agua-Alcalina-Agua, el cual permite alcanzar el objetivo perseguido (Kieferle, y otros, 1953). En la tabla 3 (Wildbrett, 2000) se muestran ejemplos de aplicaciones sucesivas de sustancias limpiadoras en la industria de la cerveza.

Los métodos deben adaptarse a las condiciones particulares de las respectivas instalaciones, tomando siempre en consideración las posibilidades de actuación de los productos limpiadores utilizados.

Un caso particular se da en los tanques de fermentación o almacenamiento, donde puede quedar cierta cantidad de dióxido de carbono. Esta sustancia neutraliza la alcalinidad de la solución limpiadora, con lo que puede producirse una presión negativa de forma que se libera cloro gaseoso de las soluciones de cloro activo. Debido a los problemas que plantea la suciedad de la levadura en la cocción y la resina de lúpulo, en la industria de la cerveza se desestima el empleo de sustancias limpiadoras alcalinas que contienen cloro activo (Wildbrett, 2000).

Según este autor, la dosificación de los productos limpiadores ácidos o alcalinos corrientes en el mercado están en términos generales entre el 0,5% y 3% siendo la proporción de medios ácidos algo más baja que la de los alcalinos.

TABLA 3: SUCESIÓN DE LÍQUIDOS.

Sucesión de líquidos limpiadores	Empleo
A-S-Af-D-Af	Tanques <i>puffer</i> en fábricas de cerveza
A-S-Af-Sx-Af	Conducción de cerveza
A-S-S-D-Af	Contenedores de bebida en una máquina limpiadora tras absorber el CO ₂
A-S-A-Sa-Af-D-Af	Tanques cilindro-cónicos de fermentación y de depósito

S = Solución alcalina, eventualmente con componente desinfectante

Sa = Solución ácida

Sx = Solución ácida de empleo esporádico o a intervalos regulares

D = Desinfección química

A = Agua (f=fría)

3.5. LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN COMBINADAS

Para plantearse la posibilidad de efectuar una limpieza y desinfección combinadas, se puede considerar que los microorganismos que han de eliminarse son en general saprofitos, como los gérmenes resultantes en la fermentación, aunque no supongan un riesgo para la salud humana.

En la industria alimentaria se utilizan medios limpiadores y desinfectantes combinados de acción rápida y con gran capacidad de reacción, que contienen también principios desinfectantes fácilmente inhibidos en una concentración que como máximo se elimina con moderados grados de ensuciamiento.

Según Wildbrett (2000), los requisitos para que una limpieza y desinfección combinadas ejecuten un trabajo eficaz son:

1. La suciedad y los residuos de alimentos nunca deben resecarse.
2. Inmediatamente después de concluir el proceso de producción, deben eliminarse los restos visibles de alimentos.

En instalaciones cerradas basta de forma frecuente con absorber los residuos líquidos de los depósitos o insuflar en las vías de transporte cerradas a título de limpieza previa (o enjuagado previo).

3. Enjuagar previamente con agua templada a la temperatura adecuada, a ser posible por encima del punto de fusión de las grasas y en todos los casos por debajo de la temperatura de coagulación de las proteínas.
4. Practicar la limpieza y desinfección utilizando suficiente cantidad de solución y combinando ambas fases en una proporción de acuerdo con el tipo de trabajo a realizar.
5. Controlar la constancia de la concentración, así como de la temperatura tanto al inicio como al final de la actuación.

Si existe dificultad a la hora de practicar una limpieza previa suficiente de las instalaciones cerradas donde se preparan los alimentos, es de obligado cumplimiento desmontar los módulos de la instalación o proceder a la limpieza y desinfección por separado.

Puede darse la situación en la que el tiempo que se tiene disponible un material es muy corto, y no es posible efectuar una limpieza y desinfección separadas. No es el caso de las instalaciones de producción de cerveza.

El enjuagado previo debe ser efectuado con especial cuidado para conseguir la eliminación total de restos de alimentos. Para determinar cuándo ha terminado el enjuagado previo, puede ser indicativa la desaparición de la turbidez.

Otra forma es la determinación de la DQO (demanda química de oxígeno). Si el agua de enjuagado alcanza un valor de DQO próximo al del agua utilizada, entonces se puede proceder a efectuar la limpieza y desinfección.

VENTAJAS E INCONVENIENTES

La limpieza y desinfección combinada es opcional y presenta tanto ventajas como inconvenientes.

TABLA 4: ETAPAS DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN (LEVEAU Y OTROS, 2002).

Procedimiento clásico	Procedimiento simplificado
Prelavado	Prelavado con agua potable
Limpieza ácida o alcalina	Limpieza + Desinfección alcalina o ácida
Enjuagado	Enjuagado final con agua potable
Desinfección	
Enjuagado final con agua potable	

Leveau y otros (2002) explican las ventajas de la combinación de limpieza y desinfección:

- Ahorro de tiempo. Simplificar de 5 a 3 etapas como muestra la tabla 4 puede suponer una economía de tiempo de entre media hora y una hora.
- Simplificación a la hora de adquirir un número específico de productos. De esta forma únicamente se necesita un solo producto.
- Tres fases de enjuagado se van a reducir a dos fases, suponiendo un ahorro de un tercio del agua de enjuagado. El agua de enjuagado final,

que contiene trazas de detergente-desinfectante, es a menudo conservada para utilizarla después en el prelavado del siguiente ciclo.

- Da lugar a un ahorro de energía debido a que las bombas de circulación funcionan durante menos tiempo, lo que implica menos necesidad de energía eléctrica.
- La solución de limpieza no contamina aquellas superficies que no hayan sido contaminadas previamente.

Por otro lado, Wildbrett (2000) sostiene que el proceso de limpieza y desinfección combinada resulta adverso en ciertas circunstancias:

- Cuando existe suciedad (por ejemplo, la proteica) muy adherida en un sistema cerrado, como puede ser un cambiador de calor.
- No es adecuado en procesos donde es frecuente que los residuos sean insolubles. Es típico de procesos de tratamiento de carnes y pescados, por lo que la elaboración de cerveza quedaría exenta.
- No es recomendable en instalaciones donde es indeseable la presencia de grandes cantidades de agua, como puede ser una panadería.

PRECAUCIONES

El producto limpiador-desinfectante ha de ser estable, tanto en estado concentrado como en solución de uso. Conviene prudencia a la hora de usar moléculas desinfectantes oxidantes en presencia de tensoactivos.

Puesto que dicho producto estará en contacto con importantes cantidades de suciedad, la eficacia bactericida debe estar asegurada incluso cuando se produzcan variaciones en el pH. Por lo tanto, es importante mantener la concentración de la solución en valores recomendados.

La mayor parte de los desinfectantes utilizados en el producto de limpieza no son insensibles a la suciedad procedente de los alimentos o de los microorganismos. La concentración del desinfectante será mayor que de tratarse de una desinfección separada (Leveau, y otros, 2002).

La utilización como desinfectante de moléculas desinfectantes que tienen un espectro microbicida selectivo puede ocasionar un desarrollo alterado de gérmenes no eliminados en la solución limpiadora. Entonces se recomienda utilizar de forma periódica un detergente-desinfectante de espectro no selectivo (Leveau, y otros, 2002).

EFICACIA

TABLA 5: COMPOSICIÓN DE LOS DETERGENTES ALCALINOS (LEVEAU Y OTROS, 2002).

Función	Detergentes alcalinos
Hidrólisis de la materia orgánica	Sosa Potasa
Complejante de las sales de dureza	EDTA Tripolifosfato de sodio
Solubilización de las sales de calcio	Fosfanatos orgánicos Gluconato de sodio
Separación de la suciedad y emulsión de las grasas	Tensoactivos
Antiespumantes para tensoactivos y suciedad orgánica	Antiespumantes
Inhibidor de corrosión en presencia de aluminio	Silicatos
Desinfectantes	Cloro-amonios cuaternarios, aldehídos-alcoholes

Según Wildbrett (2000), los desinfectantes desarrollan su acción germicida óptima entre valores de pH determinados. La naturaleza de la suciedad a eliminar requiere una limpieza a un pH que favorezca la disolución de las impurezas.

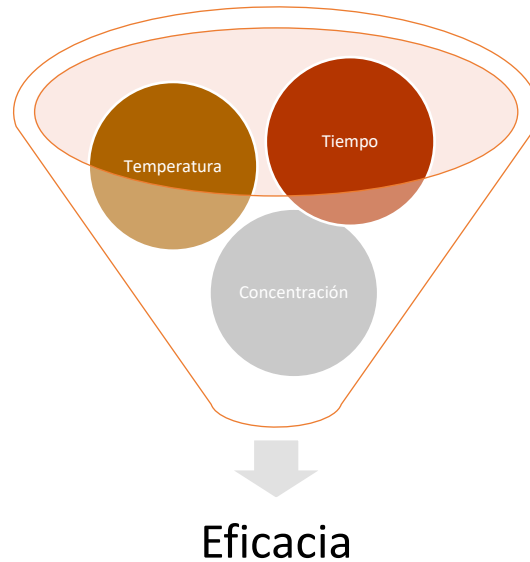
En general, se utiliza un detergente-desinfectante alcalino donde predomina la suciedad orgánica, mientras que un detergente-desinfectante ácido cuando la suciedad esté compuesta preferentemente por sales minerales. En cualquier caso, el detergente-desinfectante ha de ser eficaz como detergente y desinfección a partes iguales.

Las tablas 5 y 6 (Leveau, y otros, 2002) detallan la composición de los detergentes, detallando los posibles compuestos candidatos relativos a su función. No se especifican algunos compuestos para ciertas funciones.

TABLA 6: COMPOSICIÓN DE LOS DETERGENTES ÁCIDOS (LEVEAU Y OTROS, 2002).

Función	Detergentes ácidos
Solubilización de las sales minerales en general y sales calcáreas	Ácido fosfórico Ácido nítrico Ácido sulfúrico Ácido Sulfámico Ácido cítrico
Separación de la suciedad y emulsión de las grasas	Tensoactivos
Antiespumantes para tensoactivos y suciedad	Antiespumantes
Desinfectante	Yodo, peróxidos, amonios cuaternarios, alcoholes

La eficacia se rige fijando tres parámetros fundamentales:



Además, se establecen límites de vertido y el reemplazo de las soluciones. Dentro de los límites, puede hablarse de la DQO (demanda química de oxígeno), que no debe ser sobrepasada.

MOLÉCULAS DESINFECTANTES

No todas las moléculas resultan adecuadas para formar el detergente-desinfectante que permite la limpieza y desinfección conjuntas.

Detallado por Leveau y otros (2002), es posible utilizar:

- Cloro activo en medio alcalino.
- Yodo en medio ácido.
- Peróxidos en medio ácido.

- Tensoactivos como desinfectantes:
 - Catiónicos, tanto en medio ácido como alcalino.
 - Aniónicos en medio ácido.
 - Anfólitos en medio ácido.
- Aldehídos en medio débilmente ácido o débilmente alcalino.

Aquellos desinfectantes que pueden ser útiles en la industria de la cerveza se citan a continuación.

COLORO ACTIVO

Es el desinfectante más utilizado para formar parte de un detergente-desinfectante, debido a su eficacia y por su bajo coste.

Una de sus fuentes es el hipoclorito sódico. Utilizado como desinfectante, tiene como inconveniente el riesgo de corrosión frente al acero inoxidable. Utilizado combinadamente con un detergente alcalino, puede paliarse este riesgo para valores de pH por encima de 9.

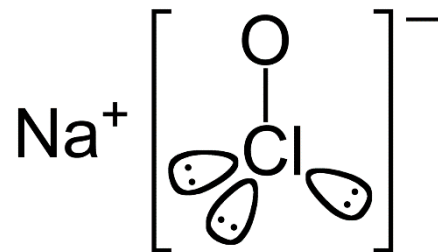


ILUSTRACIÓN 19: HIPOCLORITO SÓDICO.

Según Leveau y otros (2002), se ha de encontrar una solución de compromiso cuando se emplea un desinfectante alcalino que contenga este compuesto. Concretamente establece un rango de valores que comprende desde un pH de 9 hasta uno de casi 12, aunque de acercarse a este último ejercerá mayor poder detergente que desinfectante.

PERÓXIDOS

Se utilizan principalmente dos moléculas, el peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) y el ácido peracético (un perácido).

PERÓXIDO DE HIDRÓGENO

Puede usarse tanto en medio alcalino como en medio ácido. En el primer caso se libera todo su oxígeno con gran virulencia. En el segundo, se consigue mayor estabilidad en la solución cuanto menor es el pH.

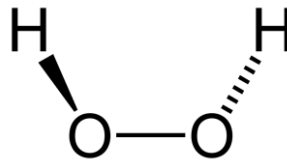
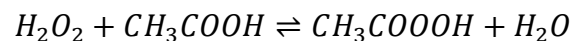


ILUSTRACIÓN 20: PERÓXIDO DE HIDRÓGENO.

Suele usarse sobre todo en la industria láctea en presencia de ácido fosfórico. Se recomienda utilizar la solución por encima de los 60°C para favorecer la liberación del oxígeno (Leveau, y otros, 2002).

ÁCIDO PERACÉTICO

Se obtiene de la reacción resultante entre el agua oxigenada y el ácido acético.



Á. acético Á. peracético

En la tabla 7 se resume lo que ocurre con este compuesto en la solución.

TABLA 7: VALORES DEL PH PARA UNA SOLUCIÓN DETERGENTE-DESINFECTANTE QUE CONTIENE ÁCIDO PERACÉTICO.

Valor del pH	Efecto
> 7	Descomposición del ácido peracético
< 3	Pierde eficacia microbicida
3 < pH < 7	Eficacia óptima

TENSOACTIVOS

Los tensoactivos poseen una eficacia microbicida que es aprovechada para desarrollar detergentes-desinfectantes. Leveau y otros (2002) los agrupan en tres grupos: catiónicos, anfótilos y aniónicos.

CATIÓNICOS

Los más destacados son los amonios cuaternarios debido a su efectividad contra las bacterias Gram-, las levaduras y los mohos.

La eficacia de los tensoactivos es notable tanto en medio alcalino como en medio ácido, siendo la industria de las bebidas la que más recurre a estos compuestos.

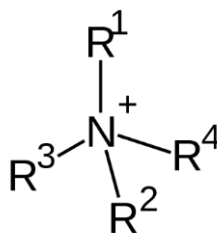


ILUSTRACIÓN 21: ESTRUCTURA DE UN AMONIO CUATERNARIO.

Como inconveniente, son frecuentemente espumantes.

ANFÓTILOS

Presentan una doble polaridad, lo que viene a decir que son tanto catiónicos como aniónicos. No son demasiado conocidos, por lo que no se usan en los detergentes-desinfectantes combinados.

ANIÓNICOS

Su uso siempre que sea como detergente-desinfectante se hace en medio fuertemente ácido, donde la eficacia microbicida del ácido se suma a la aportación del tensoactivo.

ALDEHÍDOS

Su mecanismo de acción sobre los microorganismos se basa en un ataque irreversible a las proteínas, concretamente a los grupos amina. Los más concurridos son el formaldehído y el glutaraldehído. Es frecuente en la industria de las bebidas.

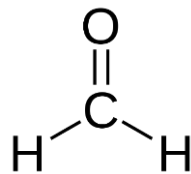


ILUSTRACIÓN 22: ESTRUCTURA DEL FORMALDEHÍDO.

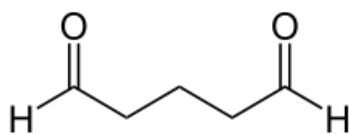


ILUSTRACIÓN 23: ESTRUCTURA DEL GLUTARALDEHÍDO.

CASO PRÁCTICO: TANQUES DE CERVECERÍAS

Leveau y otros (2002) hacen hincapié en el caso de los tanques de almacenamiento y de fermentación de la industria cervecera. Normalmente la limpieza se lleva a cabo a temperatura ambiente con detergentes ácidos formados por ácido fosfórico y/o sulfúrico. La suciedad suele estar compuesta por una mezcla de oxalato y carbonato de calcio.

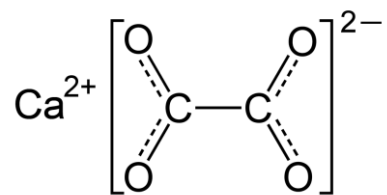


ILUSTRACIÓN 24: ESTRUCTURA DEL OXALATO DE CALCIO O ETANODIATO DE CALCIO.

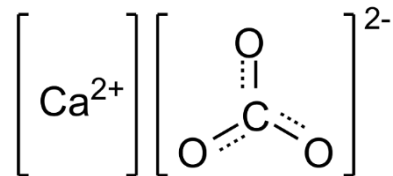


ILUSTRACIÓN 25: ESTRUCTURA DEL CARBONATO DE CALCIO.

Las soluciones de limpieza se utilizan a partir de un sistema CIP (Capítulo 4), y son conservadas durante tiempos relativamente largos. La tabla 8 detalla la composición de un detergente utilizado en un tanque de cervecería, incluyendo el desinfectante que desarrolla actividad fungicida optimizando la eficacia de éste. El tensoactivo que se utilice no debe reaccionar con el desinfectante.

TABLA 8: COMPOSICIÓN DE LOS DETERGENTES UTILIZADOS EN TANQUES DE CERVECERÍA (LEVEAU Y OTROS, 2002).

Funciones	Componentes
Base detergente para disolver la suciedad	Ácido sulfúrico o fosfórico
Inhibidores de la corrosión	Fosfonatos
Disminuir la tensión superficial	Tensoactivo no iónico
Antiespuma	Tensoactivo no iónico débilmente etoxilado
Desinfectante	Amonios cuaternarios, jabón anfolito o tensoactivo aniónico

CAPÍTULO 4: SISTEMAS CIP

Dentro de este capítulo se recogen las generalidades de los sistemas CIP, los distintos enfoques, tipos, posibilidades, así como los factores más influyentes. Además, se explica cómo se aplican mecánicamente a los equipos del proceso.

4.1. QUÉ SON Y QUÉ TIPOS EXISTEN

CONCEPTO DE CIP (CLEANING IN PLACE)

Un sistema CIP abarca la unión de los objetos uno tras otro en la cadena de producción y una eventual instalación de limpieza que aporta líquidos limpiadores a los objetos, regulando el proceso con un elevado grado de automatización (Wildbrett, 2000). Las siglas CIP corresponden a las palabras de lengua inglesa *Cleaning in place*. Una traducción directa corresponde a “limpieza en el sitio”. Dentro del conocimiento de la calidad en la industria alimentaria, la limpieza con sistemas CIP entra dentro del concepto de *limpieza in situ*.

Una definición más firme la aportan Moerman y otros (2014), quien define un CIP como “*Un método perfeccionado y automático de limpieza dirigido a eliminar la suciedad del equipamiento de una planta y las conducciones sin necesidad de desmontar dicho equipamiento*”.

No excluye en todas las situaciones la ejecución de limpieza manual. Algunos equipos como por ejemplo las bombas centrífugas, deben desmontarse ocasionalmente y limpiarse aparte manualmente.

El sistema CIP lleva a cabo la circulación de soluciones detergentes y/o desinfectantes y de agua de enjuague a través de los equipos de producción (depósitos y tuberías). La aplicación se realiza mediante chorro o rociado para

que contacte con la superficie de los equipos bajo determinadas condiciones de turbulencia (Moerman, 2003).

Las tablas 9 y 10 resumen brevemente tanto las ventajas como los inconvenientes de trabajar con sistemas CIP.

TABLA 9: VENTAJAS DE LOS SISTEMAS CIP.

Ventajas	Descripción
Adecuado para limpiar una amplia selección de equipos de proceso	Tanques, tuberías, bombas, cambiadores de calor, depósitos...etc.
Esfuerzo manual mínimo	Posee un alto grado de automatización
Mejora de la higiene	La inacción humana, las altas temperaturas y los fuertes detergentes reducen la posibilidad de re-contaminación
Trazabilidad de las operaciones de limpieza	Puede automáticamente manipular los parámetros de temperatura, flujo...etc.
Reducción del tiempo muerto	Permite que la limpieza sea más rápida que de forma manual
Menor impacto ambiental	La cantidad de vertido contaminante será menor
Menor coste económico	Se ahorra en agua, detergente, desinfectante, energía y tratamiento de residuos

TABLA 10: INCONVENIENTES DE LOS SISTEMAS CIP.

Inconvenientes	Descripción
Alta inversión económica inicial	Los sistemas CIP se diseñan a medida. Además, el hardware y el software suponen un aumento del capital
No es adecuado para eliminar suciedades pesadas	Carece de eficacia en la industria cárnica y de vísceras de aves
Inflexibilidad	Los sistemas CIP estacionarios no permiten abarcar más que procesos adyacentes
Mantenimiento	El equipamiento sofisticado requiere de un mantenimiento a mayores

LOS DIFERENTES TIPOS DE SISTEMAS CIP

Los sistemas CIP normalmente están provistos de uno o más tanques, de un suministro a partir de una bomba, dosificadores, cambiadores de calor, un complejo sistema de tuberías e instrumentación de control.

El material más utilizado para fabricar los pertinentes depósitos, tuberías y bombas de un sistema CIP es el acero inoxidable de aleación Cr-Ni. Los tipos de acero inoxidable más comunes son: AISI 304, AISI 316 y AISI 316T.

Existen cuatro tipos básicos de CIP: sistemas CIP de ebullición y descarga, sistemas CIP de recorrido único, sistemas CIP de empleo no recuperable y sistemas CIP de empleo repetido. El tipo de sistema CIP más apropiado para un proceso depende del criterio económico, del tamaño de los equipos, de la frecuencia de empleo y del riesgo de contaminación.

SISTEMAS CIP DE EBULLICIÓN Y DESCARGA

Al inicio del proceso, existe un depósito (ilustración 26) que contiene un volumen suficiente de solución limpiadora para todo el sistema que va a ser limpiado. Después de una limpieza manual, el depósito es llenado con agua y se añade detergente. Entonces la solución es calentada hasta su punto de ebullición y se lleva a cabo una limpieza de la conducción siempre que su diámetro sea inferior a 75 mm.

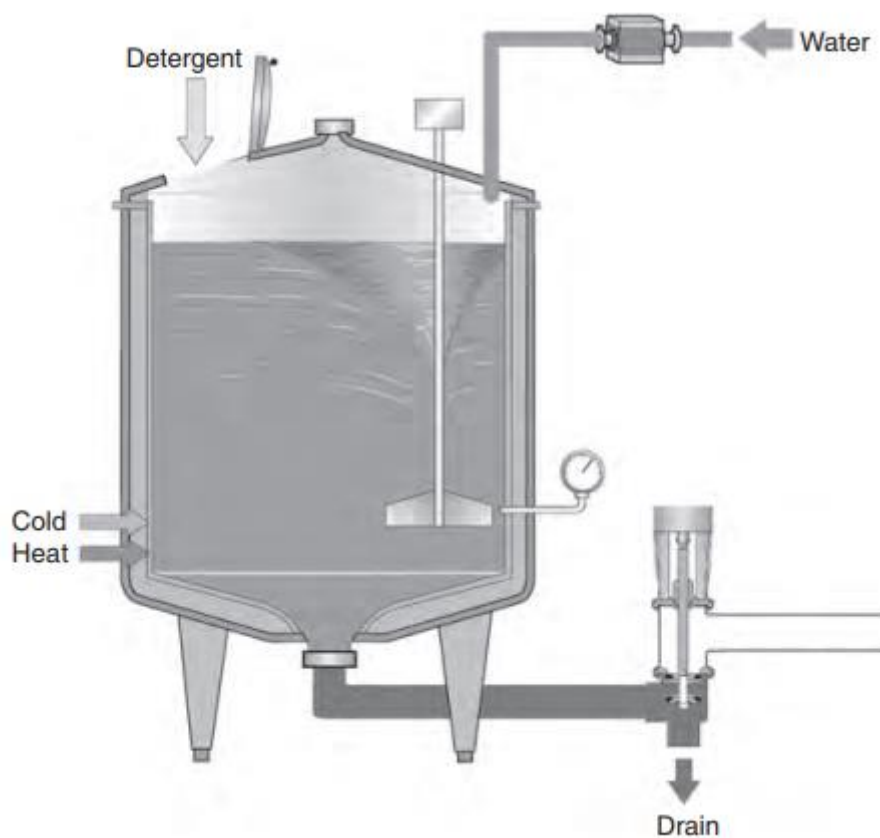


ILUSTRACIÓN 26: SISTEMA CIP DE EBULLICIÓN Y DESCARGA (MOERMAN Y OTROS, 2002).

Esta técnica no requiere de conducciones adicionales ni de servicios de rociado. No existe efluente residual y la solución de limpieza se lleva al drenaje. Sin embargo, el coste del agua y de los detergentes es alto. Además, la repetibilidad es muy pobre.

SISTEMAS CIP DE CAMINO ÚNICO

En este método (ilustración 27), una solución de limpieza recién preparada es suministrada mediante un único tanque lleno de agua donde los agentes de limpieza se adicionan mediante una conducción. Las soluciones de lavado y enjuagado no regresan al tanque del CIP. Esto evita que la suciedad se transporte a otras zonas de la instalación.

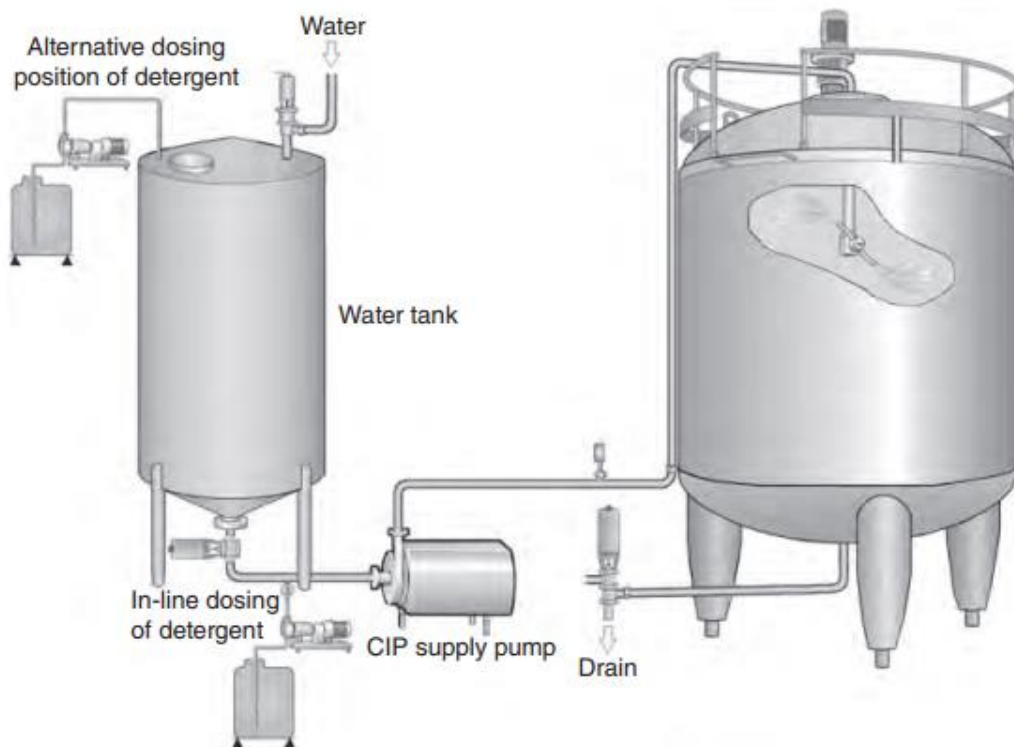


ILUSTRACIÓN 27: SISTEMA CIP DE CAMINO ÚNICO (MOERMAN Y OTROS, 2014).

Se requiere una alta inversión inicial. El inconveniente más notable es que los fluidos únicamente se utilizan una sola vez. Por lo tanto, los costes serán altos a la hora de adquirir detergentes, desinfectantes, energía y agua, además de las cantidades de efluente producido, el cual se lleva posteriormente a una planta de tratamiento.

SISTEMA CIP DE EMPLEO NO RECUPERABLE

En esta modalidad se usan pequeños volúmenes de solución. Se ajustan automáticamente a las necesidades de concentración de detergente y temperatura con un bucle de preparado.

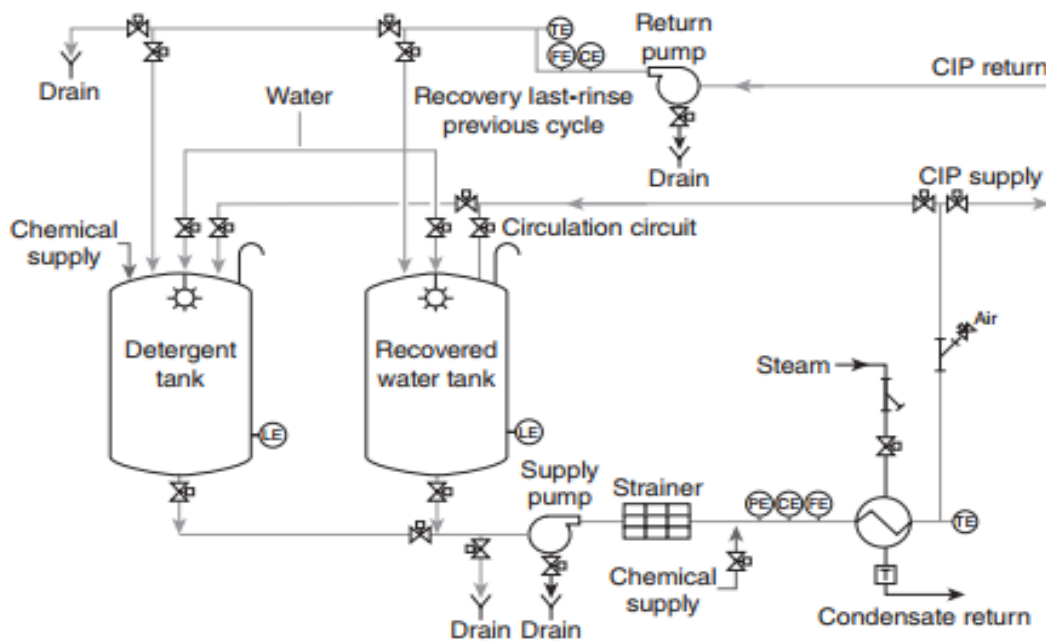


ILUSTRACIÓN 28: SISTEMA CIP DE EMPLEO NO RECUPERABLE (SANI-MATIC INC.).

Los sistemas CIP de empleo no recuperable (ilustración 28) están provistos de un tanque, tuberías, bombas centrífugas, válvulas y dosificadores (inyección directa) que automáticamente suministran la solución química. La solución de limpieza puede ser calentada mediante un cambiador de calor externo, un tanque encamisado o un serpentín dentro de un tanque, y por inyección de vapor.

Estos sistemas utilizan la solución de limpieza una única vez y en la menor concentración posible. El tanque debe tener la suficiente capacidad para limpiar tanto los equipos como las conducciones. Con objeto de ahorrar costes, cuando se recurre a esta modalidad es preferible que se encuentre adyacente a los equipos que van a ser limpiados o desinfectados.

En ocasiones se instala un depósito adicional de agua para retener el último enjuague con agua, para que pueda ser utilizado como enjuagado previo a la aplicación de un detergente o desinfectante.

Los sistemas CIP de empleo no recuperable son de pequeño tamaño y de un diseño sencillo, lo que implica una inversión inicial menor y la dotación de cierta flexibilidad. Son recurrentemente empleados en la industria agroalimentaria, concretamente en el tratamiento de leche y en los fermentadores de la industria cervecera.

SISTEMA CIP DE EMPLEO REPETIDO

En esta configuración (ilustración 29) son necesarios varios tanques, que contienen detergentes alcalinos o ácidos, desinfectantes, agua de recuperación y de enjuagado, además de uno para el enjuagado final. Todos los tanques están conectados mediante tuberías, provistas de válvulas y bombas de retorno.

Desde los depósitos, las bombas alimentan la cantidad exacta de detergente directamente dentro de un tanque parcialmente lleno de agua correspondiente.

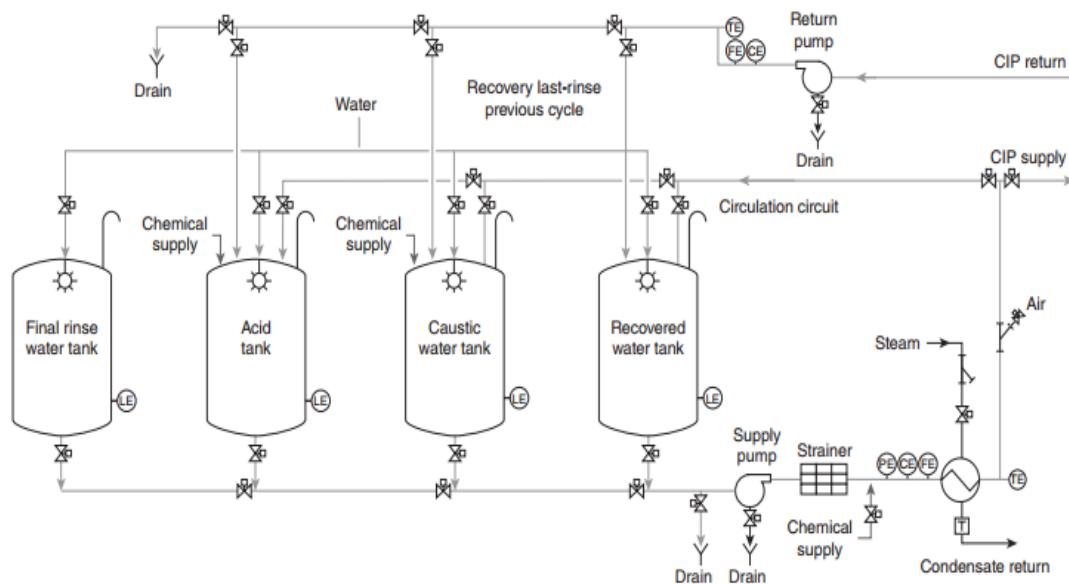


ILUSTRACIÓN 29: SISTEMA CIP DE EMPLEO REPETIDO (SANI-MATIC, INC.).

En caso de que la estación CIP sea muy grande, cada tanque dispone de su propio circuito para preparar las soluciones. El contenido de cada tanque CIP está mezclado con la recirculación de la correspondiente solución empleada en el proceso a través de una bomba de recirculación.

La utilización de tanques que contienen detergentes a diferentes concentraciones es una pérdida de espacio y una solución muy cara (Leveau, y otros, 2002).

Debido a que la conductividad es proporcional a la concentración de detergente, se instalan unos sensores de conductividad para mantener la concentración de las soluciones de limpieza.

El circuito de recirculación está equipado con un cambiador de calor para acondicionar térmicamente las soluciones químicas. Si se usa un cambiador de calor externo, el vapor suministrado (si se utiliza) es controlado por un controlador de temperatura instalado en el tanque de la solución correspondiente. La recirculación continúa hasta que la solución de limpieza alcanza las condiciones de temperatura y concentración.

Cuando la solución está lista, la válvula de recirculación que da acceso al tanque se cierra, mientras que la válvula de suministro se abre, permitiendo que la solución de limpieza fluya por la línea de suministro. Ésta es conectada a las tuberías que necesitan ser limpiadas y a los espráis que están situados en los depósitos u otros equipos del proceso.

Las soluciones de limpieza son redirigidas al sistema CIP por gravedad o mediante bombas de retorno. Éstas últimas deberían de estar provistas de un sensor anti-flujo que impida el mal uso de la bomba debido al *funcionamiento en seco**.

(*) La función de protección contra funcionamiento en seco es una de las funciones de control más importantes, ya que el cierre del eje y los engranajes podrían sufrir daños si la bomba funcionara en esas condiciones. Por ello, siempre se recomienda instalar protecciones contra el funcionamiento en seco en todos los sistemas de aumento de presión.

La solución puede ser almacenada en uno de los tanques del sistema CIP o puede ser drenada. Estos sistemas CIP de empleo repetido son programados para gastar una parte de la solución al final de cada ciclo de limpieza con el objetivo de eliminar continuamente la suciedad que proviene del proceso. Entonces se añade agua potable para que el tanque opere a su nivel habitual, tras lo cual se añade automáticamente más agente químico. La solución de detergente no se contamina tan rápido y puede reutilizarse varias veces.

Las soluciones de detergente cáustico (alcalino) o ácido pueden ser recuperadas en grandes cantidades únicamente si se han separado bien las fases de dicha solución y el agua de enjuagado.



ILUSTRACIÓN 30: SENSOR DE CONDUCTIVIDAD DE BAJO CAUDAL (EMERSON ELECTRIC CO.).

La separación y la reutilización de las soluciones se rigen por el funcionamiento de un sensor de conductividad instalado al final de cada línea de retorno de la estación CIP. Cuando el sensor detecta un incremento en la conductividad en la solución con respecto al valor de consigna, comúnmente conocido como “*set point*”, la solución vuelve al tanque de detergente correspondiente. La solución es enjuagada por agua en la siguiente etapa de enjuagado para que la conductividad disminuya hasta dicho valor.

Una vez que se ha alcanzado el mínimo valor predefinido de conductividad, indicando que se ha procedido satisfactoriamente a la eliminación de restos ácidos o cáusticos del sistema, el enjuagado, ya sea previo o intermedio, finaliza. Todo este proceso suele efectuarse de forma automática, aunque es posible detener el ciclo en una etapa concreta.

La separación de las soluciones es eficiente cuando existe un mínimo entremezclado entre las fases soluciones de limpieza y el agua. Debido a esto, las zonas de transición y los límites de dos fases sucesivas deben estar bien marcados (Leveau, y otros, 2002). La separación de las soluciones puede ser controlada mediante el uso de temporizadores, pero no es el método más efectivo. En cuanto a la capacidad de los tanques, ésta será diseñada en función del volumen del circuito, las necesidades de calor y del grado de limpieza deseado.



ILUSTRACIÓN 31: TANQUES DE UN SISTEMA CIP (GÉMINA PROCESOS ALIMENTARIOS S. L.).

Los sistemas CIP de empleo repetido son más complejos que aquellos de empleo no recuperable, además de implicar un coste de inversión más alto. Son embargo, el periodo de amortización es corto debido al ahorro en agua, detergentes químicos y energía.

SISTEMAS CENTRALIZADOS Y CENTRALIZADOS

Los sistemas CIP pueden ser clasificados además por su distribución en la planta de producción. El tamaño de la planta, el coste y la seguridad son criterios que determinan qué tipo es más conveniente.

SISTEMAS CENTRALIZADOS

Una central abastece a varios circuitos con soluciones limpiadoras de concentración ya graduada y templada, a las que almacena en grandes depósitos para inmediatas operaciones de limpieza (Wildbrett, 2000). Normalmente se usan en pequeñas plantas, cuando la distancia entre la estación CIP y los equipos a limpiar es corta.

Está comprobado que es mejor la disposición de la planta en la que se separan de forma efectiva las zonas de “materias primas” y los “productos

acabados”, debido al riesgo de re-contaminación de productos que han sido sometidos a alguna etapa de descontaminación.

La gran desventaja de estos sistemas es el alto coste económico. Las soluciones de limpieza y las aguas de enjuagado deben ser transportadas a lo largo de largas distancias, por lo que es probable que se produzcan pérdidas de calor, se necesiten mayores volúmenes de productos químicos y agua, se requiera mayor potencia de bombeo y se alarguen las tuberías.

Como ventaja, se necesita únicamente un controlador programable lógico (PLC), el cual controla el proceso completo. Los operarios no corren riesgo, ya que los compuestos químicos y las soluciones preparadas simplemente se almacenan o son preparadas en una zona específica. No existen equipos a mayores que puedan comprometer la higiene del proceso.

SISTEMAS DESCENTRALIZADOS

Cada circuito por limpiar cuenta con una unidad de abastecimiento en sus proximidades, con los recipientes correspondientes para las soluciones limpiadoras y desinfectante, dosificadores y bombas (Wildbrett, 2000). Esta configuración se recomienda cuando la planta de producción es muy amplia.

Permite que las soluciones de limpieza, enjuagado y desinfección recorran menos metros de tubería hasta llegar a los equipos. Contribuye a reducir las pérdidas de calor y el volumen de agua requerido para llenar el sistema de tuberías (Moerman, y otros, 2014).

Debido a que se trabaja con menor volumen de agua en los procesos de enjuagado, los residuos que lleguen del primer enjuagado serán más concentrados, disminuyendo la cantidad de agua vertida que la planta de tratamiento tiene que recoger.

Las menores pérdidas de calor implican tiempos más cortos de operación del sistema CIP, además de reducir la necesidad de inyección de vapor u otros medios calefactores.

La gran desventaja de los sistemas descentralizados es que requieren mayor número de tanques en el área de trabajo, cada uno con un PLC instalado en cada estación. No obstante, esto no está reñido con una preparación centralizada del detergente y una redistribución a unas pequeñas unidades CIP diferentes.

CONCEPTO DE SATÉLITE

Los tanques de carga ubicados en las proximidades de sus correspondientes instalaciones de producción reciben las soluciones a usar y sin calentar desde una central común a través del sistema de tuberías. Desde este punto es bombeado hacia el circuito y a través de un calentador, el volumen exacto que precise cada instalación.

Esta organización permite, frente a la extrema centralización, el empleo adecuado de las soluciones de limpieza y desinfección, junto con escasas pérdidas de calor. En comparación con un sistema completamente descentralizado, ahorra en equipos de dosificación.

SECUENCIA DE OPERACIONES

Aunque existe un algoritmo predeterminado para cada tipo de industria, no existe una secuencia universal que pueda abarcar todo el sector agroalimentario. Cada etapa del proceso en la industria de las bebidas puede tener unos requerimientos en cuanto a sistema CIP se refiere. Es decir, las necesidades de sistema CIP no pueden ser las mismas para depósitos que para tuberías.

Dado que puede darse cierta diversidad, se puede enumerar una secuencia global, típica para sistemas de empleo repetido, que puede ser una guía de referencia a la hora de poner en marcha un sistema CIP (Moerman, y otros, 2014) (Leveau, y otros, 2002).

APLICACIÓN DE AGUA Y/O AIRE

Tiene como objetivo recuperar producto presente en las tuberías y los equipos a limpiar, de forma que se minimice la pérdida del mismo, además de reducir la cantidad de agua de enjuagado requerida.

ENJUAGADO PREVIO

Se realiza tan pronto sea posible para evitar que se seque la suciedad residual. Puede usarse agua potable limpia a 25°C o reutilizar agua procedente de un enjuagado intermedio en un ciclo anterior.

Este enjuagado previo elimina el 90-95% de la grasa orgánica poco adherente, junto con suciedad de carácter proteico, previamente al lavado alcalino. Para evitar un derroche de agua es recomendable recuperar las aguas de enjuagado. Una vez ensuciadas, inmediatamente se drenan a través de una línea de purga o drenaje. Este enjuagado previo dura entre 3 y 10 minutos y finaliza cuando el efluente presenta claridad.

LAVADO ALCALINO

Para efectuar el lavado alcalino (1-3%), se calienta agua procedente de un enjuagado previo o no, a una temperatura de entre 50 y 90°C y se añade detergente cáustico u otro.

Este detergente es, en general, reutilizado tras el ajuste de la concentración. Para su reutilización se ha de tener en cuenta tanto la cantidad de suciedad presente como la carga de microorganismos.

ENJUAGADO INTERMEDIO

Se usa agua potable a temperatura ambiente, aunque también puede usarse tras un calentamiento, para eliminar los restos de detergente de la anterior etapa.

El primer enjuagado intermedio suele durar entre 3 y 10 minutos, dependiendo del equipo que ha sido limpiado, y finaliza una vez que no quedan restos químicos pendientes de aclarar. El agua de enjuagado puede ser drenada o reutilizada en un posterior enjuagado previo de otro ciclo del sistema CIP.

LAVADO ÁCIDO

Siempre que sea necesario se procede a un lavado con solución ácida para neutralizar los posibles residuos que permanezcan del lavado alcalino anterior. También es efectivo para solubilizar la suciedad producida por depósitos de sales minerales.

Se aplica preferiblemente reutilizando el agua de enjuagado de la etapa anterior, en un rango de concentraciones que varía del 0,5 al 2%. Las temperaturas son comprendidas entre los 50 y los 70°C, mientras que el tiempo de ejecución es de 3-20 minutos. Para eliminar los posibles residuos de la solución ácida y la suciedad que pueda seguir estando ligeramente adherida a la superficie del equipo, se procede a un enjuagado* con agua fría, la cual es recirculada al tanque de agua a reutilizar.

(*) Cuando se usa un segundo detergente, ya sea alcalino o ácido, se procede a un nuevo enjuague intermedio para confirmar que no quedan residuos químicos.

En el caso de que no procediese ninguna desinfección a continuación, se efectúa un segundo enjuagado con agua caliente. Éste último finaliza cuando no hay restos de residuos químicos, y su duración comprende los 3-10 minutos.

DESINFECCIÓN

La función del desinfectante es la reducción/eliminación de microorganismos de las superficies que han sido limpiadas previamente. Normalmente se usa agua a temperatura ambiente sin reutilizar, mezclada con desinfectante mediante inyección justo antes de la bomba de suministro.

A menudo los desinfectantes se aplican a bajas temperaturas durante 10-30 minutos, aunque algunos desinfectantes a altas temperaturas dan muy buenos resultados de descontaminación.

ENJUAGADO FINAL (OPCIONAL)

Si el equipo de proceso se sometió a desinfección química en un paso anterior, como parte de un proceso aséptico o línea de envasado, debe enjuagarse posteriormente con agua estéril (Moerman, y otros, 2014).

Sin embargo, no es necesario si se ha aplicado una inyección de vapor previamente. Para evitar una presión de vacío en un equipo que funciona asépticamente se opta por aire estéril en lugar de inyección de vapor.

CONSIDERACIONES GENERALES EN LOS SISTEMAS CIP

Para conseguir que los sistemas CIP cumplan con su cometido de manera óptima, es necesario tener en consideración algunas pautas, sobre todo en la fase de diseño de los mismos. Wildbrett (2000) hace hincapié en estas consideraciones:

- Todos los equipos u objetos deben ser lo más lisos posible y resistentes a los efectos químicos y térmicos.
- Los puntos de mayor vulnerabilidad en cuanto a deposición de residuos han de ser fácilmente accesibles. Incluso puede existir la posibilidad de desmontarlos en partes más pequeñas, si fuera necesario.
- Se evitarán los espacios muertos donde pueda acceder el agente limpiador, así como rincones, desviaciones agudas o bifurcaciones incontroladas.
- Los depósitos o tanques deben tener la menos cantidad posible de intersecciones y un desnivel suficiente hacia el orificio de salida (Deustch, 1975).
- Los depósitos deben ser lo suficientemente sólidos para no deformarse con los cambios de líquido o frente a los cambios de temperatura. Además, aquellos que alberguen soluciones de limpieza o desinfección, ofrecerán espacio suficiente para alimentar los circuitos, incluido un volumen a mayores de seguridad.
- Los recipientes deben disponerse de forma que se la línea de agua limpia pueda desinfectarse con frecuencia y evitar la mezcla de líquidos limpiadores para asegurar la eficacia.
- Las bombas deben garantizar una potencia que caracterice el flujo como turbulento de acuerdo con las dimensiones de las conducciones.

- Se dispondrá de sondas que midan la temperatura, el flujo o concentración de solución, instaladas en las conducciones pertinentes y depósitos de almacenamiento.

4.2. FACTORES QUE DETERMINAN LA EFICACIA

Moerman y otros (2014) afirma que los sistemas CIP están dirigidos a sumar los beneficios de utilizar ciertos agentes químicos y las altas temperaturas de las soluciones de limpieza, con la acción mecánica del flujo turbulento y el impacto de las soluciones lanzadas desde los espráis hacia las superficies de los equipos.

Los factores que más influyen en el funcionamiento óptimo de los sistemas CIP (Moerman, y otros, 2014) (Leveau, y otros, 2002) son varios.

CONCENTRACIÓN DE DETERGENTE

La concentración del detergente debe determinarse tanto por el tipo de suciedad a eliminar como por la complejidad de efectuar su eliminación. Es importante controlar en todo momento la concentración de la solución de limpieza, sobre todo si se trata de un sistema CIP de empleo repetido (sección 4.1). Las concentraciones altas de detergente, en torno al 2-3%, no suelen ser económicas.

Los valores que abarcan las concentraciones de los agentes de limpieza vienen marcados por el tipo de industria a la que aplican.

- Un 1% de solución cáustica es suficiente para limpiar depósitos de almacenamiento, las tuberías y tanques de fermentación, entre 1 y 2% para cambiadores de calor y entre 2 y 3% para plantas con tratamientos a alta temperatura (UHT).

La suciedad más pesada y difícil de eliminar requiere concentraciones por encima del 5% (Timperley, y otros, 1988).

- Las soluciones ácidas sin embargo no superan el 1% de concentración. Por encima de este valor se incrementa el riesgo de corrosión en las superficies metálicas (Majoer, 2003).

TEMPERATURA

Según Jennings (1965), la adhesión de la suciedad es un fenómeno exotérmico, por lo que para eliminarla se necesita un aporte energético. La temperatura interviene también sobre la velocidad de difusión del detergente en el depósito y sobre las reacciones químicas entre el detergente y la suciedad. Esto se demuestra con la primera ley de Fick.

ECUACIÓN 3: PRIMERA LEY DE FICK.

$$\vec{J}_{Ay} = -cD_{AB}\vec{\nabla}x_A$$

Siendo:

- \vec{J}_{Ay} la densidad de flujo (kg/m²s).
- c la concentración (kg/m³).
- D_{AB} la difusividad (cm²/s).
- x_A la fracción másica o molar.

Según Timperley y Smeulders, (1988), el logaritmo del tiempo de limpieza es inversamente proporcional a la temperatura en valor absoluto de la solución de limpieza.

Esta deducción viene de la ecuación de Arrhenius, donde el logaritmo de la constante cinética es inversamente proporcional al valor absoluto de la temperatura, lo que implica que, a mayor temperatura, mayor eficacia.

ECUACIÓN 4: ECUACIÓN DE ARRHENIUS.

$$k = Ae^{-\left(\frac{E_a}{RT}\right)}$$

ECUACIÓN 5: ECUACIÓN DE ARRHENIUS DESARROLLADA.

$$\ln k = \left(-\frac{E_a}{R}\right)\frac{1}{T} + \ln A$$

Los términos de las ecuaciones [4] y [5] corresponden a:

- k: constante cinética (s⁻¹).
- E_a: energía de activación (J/mol).
- T: temperatura (K).
- R: constante de los gases ideales (8,314 J/mol·K).

Es importante mantener la temperatura de la solución recirculada hacia el sistema CIP para evitar que la suciedad se vuelva a depositar. Un sistema CIP debe mantener la temperatura entre ciertos valores a lo largo de todas las etapas del proceso de limpieza (Moerman, y otros, 2014).

La temperatura idónea para la aplicación de los agentes de limpieza desde un sistema CIP está comprendida entre los 85-90°C, frente a los 45-50°C de una limpieza manual. A mayores temperaturas (100°C o más), el empleo es dirigido a lavados alcalinos de plantas UHT. Los lavados ácidos se efectúan a temperaturas entre 60 y 70°C. La tabla 11 de Guilbert (1994) ofrece una idea global de los intervalos de temperatura utilizados en un sistema CIP.

TABLA 11: TEMPERATURAS APLICADAS EN UN SISTEMA CIP EN INSTALACIONES INDUSTRIALES.

Temperaturas	Equipo que limpiar o proceso
5-40°C	Cuba de fermentación o tanque de almacenamiento.
50-70°C	Tanque de almacenamiento de productos lácteos y dosificadores.
70-90°C	Fermentadores y tuberías de conexión.
90-130°C	Instalaciones de tratamiento UHT.

ACCIÓN MECÁNICA

Los mecanismos de limpieza de los sistemas CIP puede dividirse en la limpieza de las tuberías y la limpieza de los depósitos. Las tuberías se limpian mediante la circulación del fluido de limpieza por las paredes de las mismas. El flujo se caracteriza por el parámetro adimensional de Reynolds.

ECUACIÓN 6: ECUACIÓN DEL NÚMERO ADIMENSIONAL DE REYNOLDS.

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

Donde:

- ρ es la densidad del fluido (kg/m^3).
- v es la velocidad del flujo (m/s).
- D es el diámetro interno de tubería (m).
- μ es la viscosidad del fluido ($\text{kg/m}\cdot\text{s}$).

El carácter del flujo en una tubería circular puede entonces clasificarse como laminar ($Re < 2000$), transitorio ($2000 < Re < 4000$) o turbulento ($Re > 4000$). El diseño y operación de un sistema CIP obliga a que la velocidad promedio de la solución de limpieza sea de $1,5 \text{ m/s}$. Resulta imposible controlar la velocidad del fluido en tuberías paralelas desde la misma bomba (Moerman, y otros, 2014), por lo que esta situación debe evitarse.

A la hora de diseñar el tamaño y capacidad de la bomba, se ha de considerar que la bomba debe afrontar la caída de presión en el sistema de tuberías, consecuencia de las pérdidas por fricción, los codos de tubería y las “divisiones en té”, así como otros equipos o instrumentos instalados.

En referencia a las bolas de rociado o chorro que aplican las soluciones de limpieza en los tanques (sección 4.3), éstas permiten la limpieza simultánea de los mismos, siempre que las bombas tengan la suficiente capacidad de suministro.

Normalmente el flujo volumétrico requerido en la limpieza de tanques oscila en 10 m³/h. Además, las bombas de retorno colocadas a la salida de los tanques deben tener un sobredimensionado en su capacidad de un 25%.

La limpieza de los tanques puede diferenciar dos tipos de limpieza según Guilbert (1994): la limpieza a alta presión (10-100 bar) y limpieza a baja presión (1-5 bar).

El lavado a presión se denomina como limpieza hidrodinámica. El agua es lanzada mediante fino chorro desde una boquilla que realiza movimientos orbitales.

Por otro lado, la limpieza a baja presión es dependiente de la acción del detergente sobre la suciedad y de la dimensión y posicionamiento del sistema de dispersión del mismo. El objetivo es garantizar la presencia de una película líquida sobre toda la superficie del equipo a limpiar. La tabla 12 describe las condiciones experimentales de la limpieza a baja presión de los tanques dispuestos verticalmente.

TABLA 12: CAUDALES Y PRESIONES A LA SALIDA DE UNA BOLA DE LIMPIEZA EN TANQUES DE ORIENTACIÓN VERTICAL (GUILBERT, 1994).

Diámetro (m)	Caudal (m ³ /h)	Presión de salida (bar)
2,5	12	1,5
2,5-3	14, 16	1,5
3,5-4	20, 22	1,8
4,5-6	30	2
6-10	48	2,5

TIEMPO

Generalmente, cuanto más se prolonga un ciclo de limpieza CIP, mejor es el resultado. Sin embargo, llega un momento en el que por mucho que se prolongue la ejecución del CIP la eficacia no se incrementa.

Realmente es complicado estimar cuánto tiempo es necesario para efectuar la limpieza. En la práctica, se realiza un completo estudio para determinar el tiempo de contacto que debe haber con las superficies de los equipos. Según Guilbert (1994), la selección de los tiempos de contacto del agua de enjuagado o detergente con los equipos puede determinarse a partir de los aspectos siguientes:

- La longitud de los circuitos del sistema CIP.
- El momento en el que los efluentes son claros y no contienen materia visible suspendida.
- El tiempo necesario no debe alargarse si no existe riesgo de reacción entre las trazas residuales del primer detergente y el segundo.
- La duración de la desinfección depende del desinfectante y de la carga microbiana.

La forma más rápida es llevar a cabo una observación visual a los puntos críticos del proceso (Majoer, 2003). Éstos pueden ser las placas de un cambiador de calor. Se suele dar un margen de 5-10 minutos.

CALIDAD DEL AGUA

El agua es el componente mayoritario (95%) de las soluciones de limpieza. Con el objetivo de obtener los mejores resultados, el agua utilizado debe cumplir los requisitos de calidad.

En los procesos con sistemas CIP se usa agua potable al igual que para el consumo humano. Agua potable implica que no es tóxica y está libre de microorganismos. Las siguientes sustancias y parámetros han de tenerse en consideración (Moerman, y otros, 2014):

- Dureza total (tabla 13): correspondiente a la suma de la dureza de los carbonatos ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, MgCO_3) y los no carbonados (CaCl_2 , MgCl_2 , CaSO_4 , MgSO_4 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) pueden expresarse en ppm de CaCO_3 . La cifra total no debe superar las 50 ppm, siendo lo ideal no más de 10. Las aguas completamente blandas (0 ppm) provocan corrosión).

TABLA 13: DUREZA TOTAL DEL AGUA.

Dureza (ppm CaCO ₃)	Denominación
> 200	Muy dura
120-200	Dura
60-120	Moderada
0-60	Blanda

- Silicatos: en grandes concentraciones pueden formar capas opacas en la superficie del acero inoxidable. La concentración debe ser menor a las 40 ppm de óxido de silicio (SiO₂).
- Hierro y manganeso: provocan que el agua sea corrosiva. Las concentraciones de estos elementos deben ser inferiores a 0,2 y 0,005 ppm respectivamente. Pueden ser eliminados por precipitación o filtración.
- Cloruros: pueden causar picaduras y dañar el acero inoxidable en cantidades de 40-50 ppm y en combinación con pH menor de 9,5. La concentración debe de estar por debajo de 50 ppm.
- Sulfatos: las concentraciones deben de estar por debajo de las 250 ppm para evitar la corrosión de materiales que contengan hierro.
- Nitratos: en concentraciones comprendidas entre 20 y 50 ppm atacan al hierro si el agua es blanda.
- Turbidez: es producida por la existencia de partículas sólidas en el agua. En concentraciones de 1 ppm empieza a apreciarse visualmente, y pueden generar depósitos en equipos ya limpios.
- Cuantificación de bacterias: lo ideal sería una cifra inferior a 100 unidades por mL.
- Color, textura y olor: las características organolépticas no deben apreciarse.

- Gases disueltos: el oxígeno, el dióxido de carbono y el ácido sulfhídrico (H₂S) causan diversos problemas.

TABLA 14: GASES DISUELTOS EN AGUA Y SUS EFECTOS.

Gas	Problema ocasionado
Oxígeno (O ₂)	Oxidación de los metales, especialmente el hierro
Dióxido de carbono (CO ₂)	Formación de ácidos débiles que pueden ocasionar corrosión
Ácido sulfhídrico (H ₂ S)	Alteraciones organolépticas

- pH: los valores deben estar comprendidos entre 6,5 y 8,5, siendo el máximo 10. Seiberling (1997) afirma que para un agua de enjuagado acondicionada con ácido hasta conseguir un pH de 6,5 o menor, se minimiza la deposición de sales minerales en las superficies de los equipos a limpiar.

4.3. APLICACIÓN DE LOS AGENTES. MÉTODOS MECÁNICOS

INTRODUCCIÓN A LA APLICACIÓN DE LOS AGENTES DE LIMPIEZA

Cualquier método de limpieza debe adaptarse a la suciedad y al equipo que se va a limpiar. Las características del método a emplear vienen marcadas por la forma y el tamaño de los equipos. Una posible clasificación de estos equipos distingue entre superficies planas, instalaciones cerradas, grandes depósitos, recipientes reducidos y utensilios pequeños.

Las grandes superficies lisas se limpian *in situ*, es decir, el agente de limpieza y/o desinfección actúa desde dentro. Los recipientes u objetos

pequeños se lavan a mano por un operario o bien por acción de una máquina limpiadora.

Los tanques y las instalaciones cerradas se consideran dentro del concepto de sistemas cerrados, puesto que ambos pueden conectarse a circuitos mediante conducciones específicas o bien seguir la solución limpiadora la misma vía de tránsito del producto, si bien los casos de depósitos de gran volumen se consideran como superficies abiertas en circuitos de limpieza cerrados (Wildbrett, 2000).

Como además es necesario recurrir a bombas de presión con dispositivos de rociado para repartir el líquido limpiador por las paredes, Jennings (1965) propone reservar para este caso el término de “limpieza en circulación” de sistemas cerrados, aplicando a tuberías y conducciones cerradas y aparatos de placas el concepto de “limpieza rotativa”.

Gracias a los sistemas CIP, no es necesario desmontar la instalación para efectuar el proceso de limpieza, pues estos sistemas están altamente automatizados y mecanizados.

MÉTODOS MECÁNICOS EN LA LIMPIEZA MEDIANTE SISTEMAS CIP

La limpieza de los equipos del proceso, como pueden ser los tanques de almacenamiento, se efectúa mediante dispositivos internos que se encargan de que las soluciones de limpieza o desinfectantes que parten del sistema CIP cubran toda la superficie interna de los equipos del proceso.

Moerman y otros (2014) abarcan los dispositivos que tienen este fin en tres bloques según su mecanismo de acción: dispositivos de rociado estacionarios, dispositivos de rociado giratorios y dispositivos de chorro giratorios.

DISPOSITIVOS DE ROCIADO ESTACIONARIOS

Son dispositivos de rociado estáticos que rocían la solución de limpieza bajo un patrón estático en la superficie interior de un depósito o tanque del proceso. Suelen colocarse en la zona superior de los mismos.

El resultado de la limpieza depende más de la acción química, del efecto de la temperatura y del tiempo (sección 4.2) que de la acción mecánica. La acción mecánica para despegar y disolver los residuos la proporciona la dispersión por gravedad o mojado del medio limpiador en las zonas inferiores de los depósitos o tanques. La turbulencia de la película en caída libre está solo ligeramente por encima del flujo laminar. Existen zonas donde se requiere una limpieza más exhaustiva.

Puede hacerse una clasificación de los dispositivos de rociado estacionarios atendiendo a su forma y aplicación.

BOLAS DE ROCIADO ESTÁTICAS

Son dispositivos de rociado no giratorios de pared delgada (1 mm) o de pared gruesa (hasta 6 mm) disponibles en varios materiales. Son los más utilizados para la limpieza de depósitos. El mojado directo está limitado a la parte superior del depósito, mientras que la zona inferior es mojada por el efecto cascada a través de las paredes. Pueden instalarse para que el chorro esté orientado 270° (hacia arriba o hacia abajo), 180° (hacia arriba o hacia abajo) y 90° hacia arriba.

De esta forma es suficiente para limpiar depósitos con diámetros de entre 4 y 6 metros, que contengan suciedad que sea fácilmente soluble en el detergente. Para aquellos con un diámetro mayor, basta con incrementar el caudal aplicado.

Una desventaja de estos dispositivos es que pueden actuar como coladores y acumular escombros de suciedad. Por ello, debe efectuarse un filtrado previo de solución de limpieza. A menudo debe revisarse que los agujeros no estén bloqueados, y que el agujero destinado al drenaje esté en perfectas condiciones para drenar.



ILUSTRACIÓN 32: BOLA DE ROCIADO ESTÁTICO (ARMATURENWERK HÖTENSLEBEN GMBH.).

DISPOSITIVOS ROCIADORES DE BURBUJA Y TUBO DOBLADO

Los rociadores de burbuja son hemisferios huecos con pequeños agujeros que permiten que la solución de limpieza pase a través de ellos bajo presión. La solución de limpieza es empujada por el tubo de suministro (ilustración 33) y se distribuye en diferentes dispersiones pulverizadoras precisas sobre las superficies del equipo a través de los orificios direccionalmente perforados.

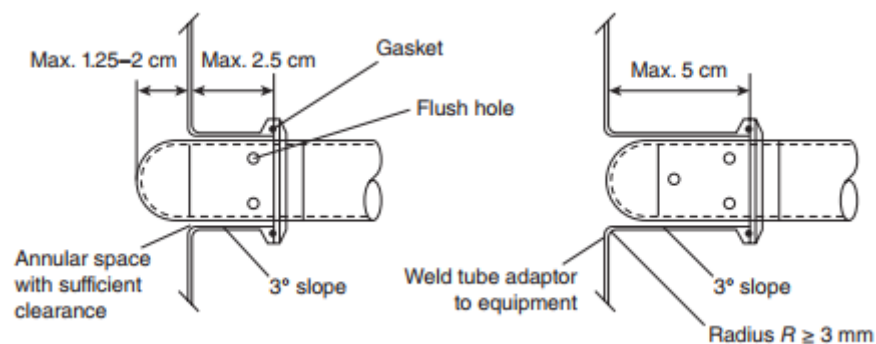


ILUSTRACIÓN 33: DISPOSITIVOS DE ROCIADO DE BURBUJA (MOERMAN Y OTROS, 2002).

Los rociadores de burbuja se utilizan en tanques y conducciones, donde el dispositivo de rociado debe colocarse en una zona donde no haya contacto con el producto.

DISPOSITIVO ESTACIONARIO DE PULVERIZADO EN RACIMO

Este dispositivo no tiene forma esférica pero sí múltiples boquillas. Puede fabricarse en politetrafluoroetileno (PTFE), cloruro de polivinilo (PVC), acero inoxidable o aleación. Deben estar equipados con un agujero de drenaje para asegurar que el líquido es completamente drenado.

Suelen usarse para eliminar suciedades de poca adherencia a las superficies de pequeños tanques. Se pueden instalar en el tope del tanque, en la zona baja o incluso en las paredes laterales. Pueden orientarse 180° hacia arriba y hacia abajo o 270° o menor hacia abajo o hacia arriba.



ILUSTRACIÓN 34: DISPOSITIVO ROCIADOR DE RACIMO (DELAVAN LTD).

DISPOSITIVOS GIRATORIOS DE ROCIADO

Los dispositivos giratorios de rociado son dispositivos de limpieza impulsados por el propio fluido. Consisten en un disco giratorio, bola o anillo con agujeros estratégicamente perforados, puertos o ranuras que giran alrededor de un mismo eje. El flujo está concentrado en un reducido número de rociadores que poseen una alta velocidad radial, lo que provoca un mayor impacto en el área donde las gotas golpean la pared del tanque.

La acción mecánica es proporcionada tanto por el impacto del fluido de limpieza que golpea la pared del tanque como por el flujo asistido por gravedad turbulento transitorio de la solución de limpieza en la superficie. Es requerida una filtración preliminar para eliminar los escombros atrapados originados por la suciedad (Franks, y otros, 2008).



ILUSTRACIÓN 35: DISPOSITIVO GIRATORIO DE ROCIADO A CHORRO (DELAVAN LTD.).

Dentro de esta categoría se pueden englobar dos grupos: de giro libre y de giro controlada.

DISPOSITIVOS ROCIADORES DE GIRO LIBRE

En estos dispositivos las corrientes de líquido salen de los orificios de las boquillas a modo de rociado, generando la propia fuerza que hace girar la bola y mantener la dinámica. De surgir algún problema, pueden ser reparados desde dentro del tanque o depósito. Sin embargo, requieren dos filas de rodamientos para evitar el bloqueo causado por su propio peso.

DISPOSITIVOS ROCIADORES DE GIRO CONTROLADO

Estos dispositivos tienen incorporado un mecanismo de reducción de velocidad. Cuando la presión se sitúa por debajo de la presión crítica, se suprime la velocidad de rotación del elemento rotativo. Normalmente están compuestos de una mezcla de plástico y componentes de acero.

DISPOSITIVOS GIRATORIOS A CHORRO

Los dispositivos giratorios a chorro impulsan el fluido mediante la fuerza del mismo o a partir de un motor. A diferencia de los dispositivos mencionados anteriormente, éstos giran alrededor de dos ejes: el cuerpo en torno al eje vertical y las boquillas en torno al eje horizontal.

La solución de limpieza golpea con la suficiente fuerza para retirar los residuos difíciles de mover de las superficies interiores del tanque y se expande hacia el exterior con una fuerza directamente proporcional a la fuerza inicial suministrada (Leveau, y otros, 2002).

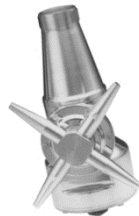


ILUSTRACIÓN 36: DISPOSITIVO GIRATORIO A CHORRO.

Los dispositivos de giro a chorro tienen un gran impacto en la limpieza de tanques con un volumen comprendido entre 15 y 250 m³. Algunos dispositivos de giro a chorro se diseñan para que la única orientación sea 180° tanto hacia arriba como hacia abajo. Actualmente existen modelos que garantizan un buen resultado en tanques de hasta 500 m³, con posibilidad de producir un impacto de 360° (ilustración 36).

Como muchos otros dispositivos de limpieza, los dispositivos de giro a chorro no pueden instalarse colgados de una manguera porque debido al chorro, ésta se movería de un lado para otro. Deben montarse rígidamente en un tubo de suministro vertical mediante soldadura. Siempre se requiere de un colador en el mecanismo para estar previsto de cualquier atasco.

CAPÍTULO 5: DISEÑO DE UN SISTEMA CIP

En este capítulo se propone un diseño de una estación CIP en una instalación cervecera de escala media. Aunque no se dispone de una base de cálculo, se especifica qué tipo de sistema CIP es más adecuado, los agentes de limpieza y desinfección necesarios, materiales...etc.

5.1. ESTRUCTURA CIP MÁS ADECUADA PARA EL PROCESO

TAMAÑO DE LA INSTALACIÓN

Tratándose de una instalación de fabricación cervecera a escala media, las dimensiones de la misma no alcanzarán en ningún caso las de una planta industrial. Sin embargo, conviene señalar que el tamaño de la instalación para la que se ha diseñado un sistema CIP es mayor que un montaje “casero” dirigido al consumo propio.

El material empleado para el diseño tanto del sistema CIP como de los equipos del proceso es el acero inoxidable 316, cuyas propiedades vienen definidas en el Anejo 2.



ILUSTRACIÓN 37: ZONA DE FERMENTACIÓN DE UNA INSTALACIÓN CERVECERA DE ESCALA MEDIA (CERVEZASENIGMA.COM).

CENTRALIZACIÓN O DESCENTRALIZACIÓN DEL SISTEMA CIP

Dado que se trata de una cervecería de escala media, el sistema CIP más adecuado debe localizarse centralizado, puesto que las distancias que recorren las tuberías no son lo suficientemente largas como para apreciarse pérdidas de calor hasta que llegan a los equipos que requieren limpieza y desinfección. En el capítulo 4 se encuentra la justificación para esta localización según Moerman y otros (2014).

Cabe la posibilidad de evitar la extrema centralización del sistema situando alguna estación satélite cerca de algunos equipos, como los fermentadores, siendo conveniente realizar un estudio exhaustivo del proceso con el pertinente análisis económico, sin olvidar la integración energética. Para plantearse esta opción, es imprescindible partir de una base de cálculo del proceso, la cantidad diaria aproximada de producción, la localización de la instalación...etc. Es importante recordar que, en las instalaciones de producción de cerveza, el punto inicial y final del proceso deben estar lo más separados posible. Esto quiere decir que, para evitar que el producto se contamine, las materias primas deben estar aisladas de éste. En una cervecería de escala media, la instalación no suele ser más que una nave de tamaño medio, por lo que tanto el punto inicial del proceso como el final estarán situados en esquinas opuestas de la misma.

DISCUSIÓN SOBRE EL EMPLEO REPETIDO DE LAS SOLUCIONES

El sistema CIP debe configurarse como de empleo repetido, ya que el agua de enjuagado y algunas soluciones de limpieza empleadas pueden volverse a utilizar después de alcanzar de nuevo la concentración deseada. En el circuito de retorno se han de instalar sensores de pH o conductividad para que automáticamente el sistema CIP distribuya las soluciones que retornan en los tanques correspondientes, siempre que sea preciso.

Sin embargo, no todo es reutilizable. Cuando se efectúa la limpieza alcalina o ácida, es posible que haya demasiada suciedad emulsionada en la zona de cocción. La solución de desinfectante no suele ser de uso recuperable si se ha expuesto a una carga microbiana excesiva, como en un fermentador.

Aquellas industrias donde existen procesos de fermentación como en la elaboración de cerveza, deben tener especial cuidado en este aspecto.

Asimismo, el agua de enjuagado que ha sido utilizada previamente tampoco puede usarse para acondicionar una solución de desinfectante. Debe ser agua fresca, y generalmente a temperatura ambiente.

Por lo tanto, se puede afirmar que para la industria cervecera puede definirse un ciclo de empleo recuperable con excepciones puntuales. Es entonces cuando se podría denominar como sistema de “empleo mixto”, si se prefiere.

5.2. SELECCIÓN DE LOS AGENTES DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN

JUSTIFICACIÓN

La industria de la cerveza es un proceso de elaboración particular y, por lo tanto, la limpieza de los equipos que intervienen también tiene un carácter singular. Los agentes químicos propuestos para efectuar el ciclo de limpieza de un sistema CIP se describen brevemente, justificando su uso.

SOLUCIONES DE LIMPIEZA

De la misma forma que se ha indicado en el capítulo 4 cuando se describía el ciclo completo de un sistema CIP, la limpieza de los equipos que intervienen en la elaboración de la cerveza requiere una etapa de limpieza alcalina y otra ácida, ejecutando un enjuagado intermedio entre ellas.

LIMPIEZA ALCALINA.

El detergente alcalino se ha de componer fundamentalmente de sosa (NaOH), ser compatible con aguas duras y contener agentes de superficie (no forman espumas*, siendo esto posible cuando se emplea a una temperatura caliente).

La sosa es el componente principal de los detergentes alcalinos fuertes, destruyendo la suciedad orgánica mediante la saponificación y facilitando su solubilización (Leveau, y otros, 2002). La potasa (KOH) también sería útil pero su coste es demasiado elevado. Su dosificación es fácilmente controlable mediante el control de la conductividad.

(*) Recordar que la elaboración de la cerveza es un proceso en el que es indeseable que aparezcan espumas debido a que puede estropear el producto.

LIMPIEZA ÁCIDA

Los ácidos empleados en la industria cervecera son aquellos que pertenecen a la categoría de ácidos minerales (inorgánicos), por el contrario de los orgánicos que se usan para limitar los vertidos de los ácidos inorgánicos o para reforzar el poder secuestrante.

El detergente ácido debe estar formado fundamentalmente por ácido nítrico y ácido fosfórico, constituyendo un detergente fuertemente ácido. Además, debe incluirse algún compuesto antiespumante para evitar la formación de espumas.

TABLA 15: COMPARACIÓN DE COMPUESTOS ÁCIDOS INORGÁNICOS.

	Ácido clorhídrico	Ácido nítrico	Ácido fosfórico	Ácido sulfúrico	Ácido sulfámico
Poder desincrustante	+++	++	++	++	++
Poder dispersante	-	-	+++	-	-
Inconvenientes	Corrosivo con el acero inoxidable	Uso limitado por su poder oxidante	-	Corrosivo	Corrosivo porque genera ácido sulfúrico por hidrólisis

-: nulo; +: débil; ++: bueno; +++: muy bueno.

Este detergente tiene como objetivo neutralizar la aplicación alcalina anterior y eliminar los restos de suciedad inorgánica que puedan quedar, piedras de cerveza y restos de levadura.

De entre la variedad de ácidos minerales (fosfórico, nítrico, sulfúrico...etc.) se han seleccionado el fosfórico y el nítrico porque son más adecuados para el proceso cervecero. Las propiedades de los ácidos minerales se comparan en la tabla 15 de Leveau y Bouix (2002).

SOLUCIÓN DESINFECTANTE

El desinfectante utilizado para reducir o eliminar la carga microbiana está compuesto de ácido peracético. Las soluciones de ácido peracético son principalmente para la desinfección de equipos y conducciones de la industria de bebidas. Es un desinfectante eficaz siempre y cuando se respeten sus condiciones de empleo.

Posee una excelente acción bactericida y esporicida que es función de la concentración y la temperatura. Este ácido es conocido por su acción eficaz y en tiempo breve a baja temperatura.

La formulación de un desinfectante basado en ácido peracético contiene, además: peróxido de hidrógeno, ácido acético, agua y estabilizantes.

Según Leveau y Bouix (2002), la presencia de metales o de sus sales como manganeso, hierro, cobre sustancias orgánicas o agentes reductores, entraña una descomposición catalítica que puede provocar la inflamación de materiales combustibles. Toda mezcla extemporánea no estudiada en el laboratorio debe ser prohibida.

POSIBILIDAD DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN COMBINADAS

En el capítulo 3 se hace referencia a la posibilidad de ejecutar la limpieza y la desinfección conjuntamente. Dado que la elección del ácido peracético como desinfectante conlleva algunos riesgos a la hora de preparar mezclas no estudiadas, se prescinde de la idea de que en un mismo producto de limpieza se lleve a cabo la limpieza y la desinfección para una instalación cervecera de escala media.

Sin embargo, si se optase por formular un producto como el descrito en la tabla 8, podría estudiarse su empleo más allá de los equipos de fermentación. También ha de valorarse si una solución combinada es viable a la hora de reutilizarla.

Leveau y Bouix (2002) señalan que el ácido peracético puede ser añadido en soluciones ácidas, aunque no valoran su eficacia. En la sala de cocción, los agentes de limpieza actúan a una temperatura más elevada que el desinfectante, luego la idea quedaría restringida a la sala de fermentación o maduración.

Dentro de las nuevas técnicas empleadas en el sector cervecero, algunos organismos como el Ministerio de Medio Ambiente mencionan el realizar las etapas de limpieza (no desinfección) en una sola, dotándola de un carácter ácido o alcalino, para eliminar la suciedad orgánica e inorgánica conjuntamente. Posteriormente indica que esta técnica no concluye con resultados satisfactorios.

La elección del sistema CIP centralizado diseñado para toda la instalación rige que las distintas soluciones limpiadoras o desinfectantes estén separadas y se usen según lo programado en el PLC.

PROPIEDADES TERMODINÁMICAS

Las soluciones de limpieza y desinfección deben aplicarse dentro de los parámetros recomendados de temperatura y concentración. Para acondicionar estas soluciones, se dispone de equipos dosificadores de producto limpiador/desinfectante, así como un cambiador de calor, todos ellos controlados automáticamente por el sistema CIP en cuestión.

De forma resumida se engloban en la tabla 16 las propiedades termodinámicas de los productos de limpieza y desinfección escogidos, cuyos valores corresponden a los óptimos en su aplicación. Para garantizar el éxito de estos agentes en la industria cervecera, se recomienda no ignorar estas pautas.

En la tabla 16 se hace una distinción entre la aplicación de agentes en:

- Equipos de cocción, tuberías o cambiador de calor ($X_{\text{tub,eq}}$).
- Equipos de fermentación, maduración (X_{ferm}).

TABLA 16: PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE LOS AGENTES QUÍMICOS.

Compuesto	$T_{\text{tub,eq}}$ (°C)	T_{ferm} (°C)	$\%_{\text{tub,eq}}(\text{vol/vol})$	$\%_{\text{ferm}}(\text{vol/vol})$
NaOH	75-80	T_{amb}	1,5-2	1,5-2
H ₃ PO ₄ HNO ₃	50	T_{amb}	0,5-2	0,5-2
APA	T_{amb}	T_{amb}	0,3-2,5	0,3-2,5

APA: ácido peracético, T_{amb} : temperatura ambiente.

Corrosión

El acero inoxidable AISI 316 constituye el material empleado para el diseño de la estación CIP, coincidiendo que también puede ser el material de los equipos del proceso. Sus propiedades se encuentran en el Anejo 2.

La corrosión es un fenómeno indeseable en cualquier proceso de producción, pues el coste de los equipos supone gran parte de la inversión. Para evitarlo, los agentes químicos seleccionados para efectuar la limpieza y la desinfección deben suponer un riesgo nulo ante el empleo repetido de éstos.

La incorporación de cromo y níquel aumenta considerablemente la resistencia del hierro de fácil corrosión (Wildbrett, 2000). Dentro de un enfoque electroquímico, el cromo metálico se comporta como el hierro, pero por reacción con el oxígeno del aire se forma trióxido de cromo (Cr_2O_3) que es mucho más resistente a la corrosión (Hornbogen, 1987). Como añadido, el níquel reduce como otro componente de aleación la sensibilidad del acero inoxidable frente a medios no oxidativos, como los ácidos orgánicos y en cuantía limitada también frente a ácidos minerales diluidos (Wranglèn, 1985). La tabla 17 de Wildbrett (2000) resume el comportamiento del acero inoxidable frente a los agentes químicos seleccionados para la limpieza mediante el sistema CIP.

TABLA 17: COMPORTAMIENTO DEL ACERO INOXIDABLE FRENTE A LOS AGENTES QUÍMICOS SELECCIONADOS.

Componente	Concentración máxima (%)	Temperatura máxima (°C)	Tolerancia del material
Hidróxido de sodio	5	140	Buena
Ácido nítrico	5	80	Buena
Ácido fosfórico	5	80	Buena

Respecto al desinfectante, el ácido peracético diluido en agua destilada no provoca ni corrosión localizada (cavernas y picados) ni corrosión generalizada (Leveau, y otros, 2002). Sin embargo, cuando contiene cantidades de cloruro los aceros inoxidable se muestran muy sensibles a la corrosión. Siempre que las cantidades de cloruro no superen a las esperadas*, no hay peligro de corrosión. El molibdeno contribuye a evitar el picado de este acero.

(*) El agua potable puede contener iones cloruro. También durante el proceso de elaboración de la cerveza cuando se usa cloruro de calcio como aditivo.

VERTIDOS: LAS AGUAS RESIDUALES

CONSECUENCIA DE LA PRODUCCIÓN DE CERVEZA

De todas las emisiones procedentes de la industria alimentaria, las aguas residuales son las que tienen un mayor protagonismo. Se componen preferentemente de sustancias orgánicas resultantes del tratamiento de materias primas y de los productos químicos empleados en la limpieza y desinfección. La industria de la fabricación cervecera encabeza la lista de sectores alimentarios de mayor carga residual anual de agua, por delante de la industria cárnica y de la industria láctea.

En proporción, el mayor consumo de agua en la industria cervecera se produce por parte de las operaciones de limpieza de equipos e instalaciones, tanto las que se realizan de forma manual como las que se llevan a cabo automáticamente mediante el sistema CIP. El agua residual es la corriente que normalmente aporta mayor carga contaminante, ya que las soluciones de limpieza, además de contener diversas sustancias químicas como agentes de limpieza y desinfección, entran en contacto directo con la superficie de equipos, conductos y depósitos que han contenido o transportado mosto, cerveza o materias primas, incrementando considerablemente la carga orgánica y la cantidad de sólidos suspendidos entre otros parámetros de medición. Ningún producto limpiador o desinfectante que llega al medio ambiente es beneficioso para éste. Las medidas a adoptar en el establecimiento sólo son capaces de reducir la intensidad de las emisiones contaminantes, pero sin llegar a evitarlas del todo (Wildbrett, 2000).

PARÁMETROS DE CONTROL

El control y la medición de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales se realiza mediante medidas directas y en discontinuo. En la tabla 18 (Ministerio de Medio Ambiente, 2005) se muestran los parámetros típicos de medición en la industria cervecera.

TABLA 18: PARÁMETROS DE ANÁLISIS DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Clase	Parámetro	Unidades
Materia orgánica	DQO	mg O ₂ /L
Sólidos no disueltos	Sólidos en suspensión	mg/L
Nitrógeno	Nitrógeno Kjeldahl Total	mg N/L
Fósforo	Fósforo Total	mg P/L
Conductividad eléctrica	CE	µS/cm
pH	pH	Valor

El análisis de los vertidos se efectúa en un laboratorio del correspondiente organismo en materia de control de vertido, o en su defecto un laboratorio homologado o designado por la administración competente, cumpliendo la norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2000 relativa a la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.

La frecuencia con la que se efectúan estos análisis se especifica desde una autorización ambiental integrada junto con los procedimientos de control, metodología y métodos de evaluación de mediciones.

Los parámetros límite de los vertidos industriales son desarrollados en competencia de los municipios y comunidades autónomas de España mediante un documento del Boletín Oficial del Estado.

En la instalación diseñada, los efluentes convergen en un tanque de almacenamiento de grandes dimensiones ajeno a la instalación de producción y del sistema CIP, cuya responsabilidad de tratamiento corresponde a una empresa externa.

SEGURIDAD

Las hojas de seguridad de los principios activos de las soluciones empleadas en la limpieza y desinfección mediante un sistema CIP se encuentran recogidas en el Anejo 3.

5.3. EQUIPOS E INSTRUMENTACIÓN DEL SISTEMA CIP PROPUESTO

En los diagramas A3-P&ID-100-2 y A3-P&ID-200-2 situados al final de la memoria se especifica gráficamente la propuesta de diseño del sistema CIP centralizado de empleo repetido para una instalación cervecera de escala media. Dichos diagramas contienen la información de flujo del proceso de acondicionamiento de los agentes químicos, así como la instrumentación requerida. La escala es 1:100.

El sistema CIP diseñado se puede desglosar en dos zonas. Por una parte, la unidad o módulo U-100 comprende la zona de tanques de almacenamiento de los agentes químicos y el agua, tanto fresca como de retorno. Contiguamente, la unidad o módulo U-200 abarca el cambiador de calor de carcasa y tubos, el tanque de aceite térmico que cederá calor a las soluciones de limpieza, y las conducciones propias para el acondicionamiento.

Las corrientes de retorno y recirculación, así como la propia de suministro del sistema CIP se encuentran en ambos diagramas.

Para este sistema CIP propuesto, el material elegido de forma homogénea es el acero inoxidable AISI 316.

TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Los tanques de almacenamiento de los agentes químicos y el agua son tanques atmosféricos de cabeza y fondo esféricos. La distribución de izquierda a derecha de los tanques se resume en la tabla 19.

TABLA 19: TANQUES DE ALMACENAMIENTO DEL SISTEMA CIP.

Tanque	TK-110	TK-120	TK-130	TK-140	TK-150
Solución	Agua fresca	Desinfectante	Alcalina	Ácida	Agua de retorno

La distribución de los tanques no es aleatoria. El agua fresca y el desinfectante se sitúan a la izquierda para eliminar cualquier suciedad, carga microbiana o restos de otro agente limpiador que pueda haber en la línea de suministro. El agua de retorno, que proviene de un enjuagado anterior, se sitúa al extremo derecho para que no propague la probable, aunque minúscula suciedad, a la línea de suministro que parte de los tanques de la izquierda.

Estos tanques cuentan con:

- *Manhole*: aparece en la parte inferior derecha. Consiste en un agujero por el cual un/a operario/a accede para revisar el interior del tanque cuando está vacío.
- Dispositivo de rociado o chorro: los dispositivos mencionados en el capítulo 4 se colocan también en el interior de los tanques del sistema CIP, preferiblemente en el centro de la zona superior. La persona responsable de la limpieza debe valorar si el dispositivo debe ser de rociado o de chorro, aunque teniendo como fin el abastecer de agua fresca los tanques, los de chorro parecen más adecuados.
- Medidor de nivel: comúnmente denominado *level glass*, se puede ver directamente el nivel del tanque. Además, está vinculado a un transmisor de nivel con alerta programada en caso de exceso o defecto. Incluye un indicador de conductividad, para comprobar si se ha de añadir agua potable o concentrado de solución desde la sala de control.
- Brida superior: permiten la conexión con un sistema de suministro de agente químico que se controla desde la sala de control.
- Plato *antivortex*: el fenómeno *vortex* consiste en la acumulación de líquido en los tanques con salida centrada que impide el correcto vaciado o drenaje.
- Venteo: los tanques atmosféricos deben estar equipados con el adecuado sistema de venteo para evitar el daño por presión de vacío o por aumento de presión.

SISTEMA DE TUBERÍAS Y OTROS EQUIPOS

Las conducciones de las soluciones de limpieza y desinfección parten desde los tanques de almacenamiento hasta los equipos del proceso de producción. Para acondicionar las soluciones o el agua de enjuagado, las conducciones atraviesan un cambiador de carcasa y tubos (E-210), donde un aceite térmico circulando en la carcasa cede calor para calentar el fluido que circula por los tubos.

Si la solución no consigue la temperatura deseada, puede seguir la línea de recirculación y volver de nuevo al cambiador. Esta línea de recirculación debe enjuagarse posteriormente. El aceite térmico parte de su correspondiente tanque (TK-220). Algunas ventajas de utilizar aceite térmico son:

- Altas temperaturas (hasta 400°C en fase líquida) con mínimas presiones atmosféricas, lo que simplifica el diseño de la instalación.
- Ausencia de corrosión (el fluido lubrica la instalación) y elevada inercia térmica (el sistema retiene el calor por más tiempo).
- Emisiones de CO₂ y NO_x proporcionalmente reducidas.

En el caso en que la solución de limpieza, desinfectante o agua se apliquen a temperatura ambiente, antes de llegar al cambiador circulan por una conducción alternativa que conduce directamente a los equipos del proceso. Como añadido, el controlador de temperatura manipula las válvulas para que el fluido recorra el camino acertado en función de la temperatura a la que ha de aplicarse.

Las tuberías están equipadas a lo largo de los circuitos con válvula autorregulable (en función de la conductividad, temperatura...), válvula antirretorno, drenajes, medidores multivariable (presión, temperatura, conductividad...), bombas de suministro o retorno con sus respectivos filtros y motores de actuación, y por último un desagüe al final del circuito de retorno.

Dentro de la zona de tanques de almacenamiento U-100, las válvulas han de colocarse cerca de la línea de retorno/recirculación al CIP y las válvulas antirretorno al inicio de las ramas de retorno de los tanques para evitar zonas muertas. Además, es aconsejable interconectar las líneas de retorno y recirculación con la de suministro (Moerman et al, 2014).

MÉTODOS MECÁNICOS

Tal y como se ha descrito en el capítulo 4, para aplicar las soluciones de limpieza, desinfectantes y agua de enjuagado, se necesitan dispositivos que empapen toda la superficie interna de los equipos del proceso.

En función de la geometría y tamaño del equipo a limpiar, el dispositivo será de chorro o de rociado. Como se ha mencionado en otros apartados, los dispositivos se colocan centrados en la zona superior de los depósitos. Es importante que las boquillas de la zona superior del tanque queden próximas al dispositivo, ya que de esta forma también pueden ser limpiados. En el supuesto caso que todas las boquillas estén situadas de un lado en la zona superior, el dispositivo deberá estar colocado ligeramente hacia ese mismo lado.

LAZOS DE CONTROL DURANTE EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA CIP

La instrumentación es una de las partes esenciales del sistema CIP. Gracias a ella, apenas se requiere intervención humana para efectuar la limpieza y desinfección del proceso. Los tanques de almacenamiento del sistema CIP cuentan con un medidor de nivel LG, junto con un transmisor de nivel LT que es programado con alertas de nivel alto LSH y bajo LSL.

Cuando el líquido que parte de un tanque entra en la línea de suministro atraviesa unas válvulas automáticas que detectan el flujo, disponiendo de un drenaje al final de la unidad U-100 por si surge imprevisto alguno. Dentro del módulo de acondicionamiento, un indicador-transmisor multivariable UIT envía una señal al PLC para que un controlador accione la posterior bomba de flujo. Las válvulas posteriores se manipulan desde el controlador TC, en función de si el fluido necesita recibir calor en el cambiador E-210 por parte del aceite térmico o de si va a operar a temperatura ambiente. En el tanque TK-220 del aceite térmico, un transmisor de temperatura tanto en el fondo del tanque como en la línea de retorno mandan una señal al controlador de temperatura, que actuará sobre el motor eléctrico que mediante una resistencia calienta el fluido del interior del tanque. Ya en la salida de los tubos del cambiador, el fluido procedente de los tanques del sistema CIP se dirige hacia los equipos a limpiar o desinfectar. Un indicador-transmisor de temperatura manda una señal al PLC y éste a un FC para manipular dos válvulas, que conducen a la línea final de suministro o a la recirculación al sistema CIP.

Si el fluido ha conseguido la temperatura deseada, éste seguirá su camino por la línea de suministro. En cambio, si no ha llegado a la temperatura deseada recorrerá la línea de circulación, para volver de nuevo al cambiador. Como añadido, el controlador multivariable que recibe señal del PLC anterior regulará las válvulas y los motores de las bombas de la línea de aceite térmico,

para ahorrar la máxima energía posible. Por último, la línea de retorno que se representa en la parte superior del diagrama A3-P&ID-200-2 es la que regresa a los tanques del CIP o bien se desecha al desagüe, aunque si no cumple la normativa de aguas residuales, se lleva a un depósito de almacenamiento gestionado por otra entidad. La línea de retorno cuenta con un indicador-transmisor multivariable que envía una señal al PLC para que un controlador de flujo valide la corriente de retorno a la unidad U-100.

SECUENCIA CIP

Resumidamente, la secuencia de los fluidos que parten del CIP de la tabla 20 describe el proceso acorde con todo lo explicado en secciones anteriores. En función de los valores de conductividad de retorno, la carga sólida de suciedad o de estudios previos realizados previamente, las soluciones químicas podrán ser programadas para retornar a los tanques o no.

TABLA 20: SECUENCIA DEL SISTEMA CIP PROPUESTO.

Etapa	Fluido	Concentración %	Vertido
Enjuagado previo	Agua recuperada	-	Desagüe
Limpieza alcalina	Sosa cáustica	1,5-2	Recup. /desagüe
Enj. Intermedio	Agua caliente limpia	-	Recuperación
Limpieza ácida	Ácidos fosfórico y nítrico	0,5-2	Recup. /desagüe
Enj. intermedio	Agua limpia	-	Recuperación
Desinfectante	Ácido peracético	0,3-2,5	Recup. /desagüe
Enjuagado final	Agua limpia	-	Recuperación

CONCLUSIONES

El proceso de elaboración de la cerveza es uno de los que más peligro tiene en cuanto a exposición a la contaminación microbiológica. Los sistemas CIP conllevan un ahorro en energía, costes (salvo la inversión inicial) y de intervención humana. Además, el agua y las soluciones químicas empleadas pueden reutilizarse si es preciso.

Para llevar a cabo la limpieza de los equipos del proceso, se recurre a una solución alcalina de sosa para eliminar la materia orgánica, mientras que para la inorgánica es necesario una solución ácida compuesta por ácido fosfórico y nítrico. En cuanto a la reducción o eliminación microbiana, el ácido peracético es la solución más eficaz. Los enjuagados se efectúan con agua limpia o recuperada en función de la etapa del ciclo CIP. Estos líquidos anteriormente descritos se aplican mediante dispositivos de rociado o de chorro colocados en la parte superior de los equipos del proceso. Las propiedades termodinámicas varían en función de la solución química y dependiendo de si se suministran a la sala de cocción o en la de fermentación-maduración. No se recomienda la limpieza y desinfección combinadas salvo que se estudie satisfactoriamente por parte de un equipo de calidad y se opte por un sistema más descentralizado.

Para acondicionar las soluciones cuando es requerido, un aceite térmico cederá calor mediante un cambiador de carcasa y tubos, puesto que en una instalación de escala media es muy improbable disponer de servicios auxiliares de vapor. Como añadido, conserva muy bien la temperatura marcada y no existe peligro de corrosión. El sistema CIP más adecuado para una industria de pequeña o mediana escala es de tipo centralizado y de empleo repetido porque permite ahorrar costes a largo plazo y se aprovecha mejor el espacio.

BIBLIOGRAFÍA

Bacon, J. S. D. 1981. Nature and disposition of polysaccharides within the cell envelope. [aut. libro] W. N. Arnold. *Yeast Cell Envelopes; Biochemistry, Biophysics and Ultrastructure*. 2nd ed. s.l. : CRC Press, 1981, pág. 65.

Bacon, J. S. D. 1973. The contribution of b-glucanases to the lysis of fungal cells walls. [aut. libro] J. R. Villanueva. *Yeasts, mold and plant protoplasts*. New York : Academic Press, 1973.

Buchanan, R. L. y Philips, J. G. 1990. Response Surface model for predicting the effects of temperature, pH, NaCl content, sodium nitrite concentration and atmosphere on the growth of *L. monocytogenes*. *Journal of Food Protection*. 1990, 53, págs. 370-3.

Carlier, V. 1983. Étude de quelques paramètres de pH ultime des viandes de bovins. s.l. : RTVA, 1983. 185, pág. 3.

Deustch, O. 1975. Anforderungen an Produktionsanlagen. *VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen*. 1975. págs. 11-13.

Fleet, G. H. 1991. Cells walls. [aut. libro] A. H. Rose y J. S. Harrison. *The yeasts*. 2nd ed. London : Academic Press, 1991, Vol. IV, pág. 199.

Franks, J. W. y Seiberling, D. A. 2008. CIP Spray Device Design and Application. [aut. libro] D. A. Seiberling. *Cleaning-in-Place for Biopharmaceutical Processes*. 1st ed. New York : s.n., 2008, págs. 159-174.

GÉMINA Procesos Alimentarios, S.L. Gémina. [En línea] <https://www.gemina.es/es/>.

Goode, K. R., y otros. 2010. Characterising the cleaning mechanisms of yeast and the implications of Cleaning in Place (CIP). 2010. 88, págs. 365-374.

Goodfellow. [En línea] <http://www.goodfellow.com/S/Acero-Inoxidable-AISI-316.html>.

Goodrich Corporation. Delavan Spray Technologies. [En línea] <http://www.delavan.co.uk/>.

Guilbert, D. 1994. A new look at important issues in the food industries - Introduction to CIP. s.l. : Vista 3 Diversay corporation, 1994. 2, pág. 52.

- Guyander, P., Amgar, A. y Coignard, M. 1996.** Là desinfection. [aut. libro] C. M. Bougeois, J. F. Mescle y J. Zucca. *Microbiologie Alimentaire*. Paris : Tec & Doc Lavoisier, 1996, págs. 441-460.
- Hornbogen, E. 1987.** Wekstoffe. Aufbau and Eigenschaften von Keramik, Metallen, Polymerund Verbundwerkstoffen. Berlin : Springer Verlag, 1987.
- Jay, J. M. 1992.** Modern food microbiology. New York : Van Nostrand Reinhold Compagny, 1992.
- Jennings , W. G. 1965.** Theory and practise of hard-surface cleaning. Advantages in Food Research. 1965, Vol. XIV, págs. 326-458.
- Keller, A. 1988.** Recycling von Detergentien, ein umweltgerechtes und ökonomisches Verfahren. *Alimenta*. 1988, 27, págs. 39-42.
- Kieferle, F. y Wildbrett, G. 1953.** Chemische Reinigung von Platterhitzem aus nichostendem Stahl. *Deusche Molkerei*. 1953, 74, págs. 891-893.
- Leveau, J. Y. y Bouix, M. 2002.** *Manual técnico de higiene, limpieza y desinfección*. [trad.] A. López, V. Madrid y A. Madrid. Primera edición. Madrid : AMV Ediciones, 2002.
- Mahou S. A.** [En línea] <https://www.mahou-sanmiguel.com/>.
- Majoer, F. A. 2003.** Cleaning-in-Place. [aut. libro] H. L. M. Lelieveld, y otros. *Hygiene in Food Processing*. Cambridge : Woodhead Publishing, 2003, págs. 122-166.
- McMurrough, I. y Rose, A. H. 1967.** Effect of growth rate and substrate limitation on the composition and structure of cell wall of *S. Cerevisiae*. *Biochemm J*. 1967, 105, pág. 189.
- Ministerio de Empleo y Seguridad Social.** Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo. [En línea] <http://www.insht.es/portal/site/Insht/>.
- Ministerio de Medio Ambiente. 2005.** *Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España en el sector cervecero*. 2005.
- Mital, K. L. 1979.** *Surface contamination*. New York : Plenium Press, 1979. págs. 3-45. Vol. I.
- Moerman, F. 2003.** *Cleaning-in-Place*. 2nd ed. s.l. : Post Academisch Onderwijs Nederland, 2003.
- Moerman, F., Rizoulières, P. y Majoer, F. A. 2014.** *Hygiene in Food Processing*. Segunda edición. 2014. págs. 305-383.

Mozes, M., y otros. 1987. Immobilization of microorganisms by adhesion: Interplay of electrostatic and nonelectrostatic interactions. *Biotechnology and Bioengineering*. 1987, 30, pág. 439.

Phaff, H. J. 1971. Structure and biosynthesis of the yeast cell envelope. [aut. libro] A. H. Rose y J. S. Harrison. *The yeasts*. 1st ed. London : Academic Press, 1971, Vol. II, pág. 135.

Roshner, D. 2005. Traceability of Cleaning Agents and Desinfectants. [aut. libro] H. L. M. Lelieveld, M. A. Mostert y J. Holah. *Handbook of Hygiene Control in the Food Industry*. Cambridge : Woodhead Publishing, 2005, págs. 672-683.

Salo, S., Friis, A. y Wirtanen, G. 2008. Cleaning validation of fermentation tanks. *Food and Bioproducts Processing*. 2008, 86, págs. 204-210.

Sani-Matic Inc. [En línea] <http://sanimatic.com/food-beverage/clean-in-place/>.

Schmitt, M. y Randler, F. 1987. Manoprotein of the yeast cell wall as primary receptor for the killer toxin of *Saccharomyces cerevisiae* strain 28. *J Gen Microbiol*. 1987, 128, pág. 1635.

Schmitt, M. y Randler, F. 1988. Molecular structure of the cell wall receptor for killer toxin KT 28 in *Saccharomyces cerevisiae*. *J Bacteriol*. 1988, 170, pág. 2192.

Seiberling, D. 1997. CIP Sanitary Process Design. [aut. libro] K. J. Valentas, E. Rotstein y R. P. Singh. *Handbook of Food Engineering Practice*. s.l. : CRC Press , 1997, págs. 581-631.

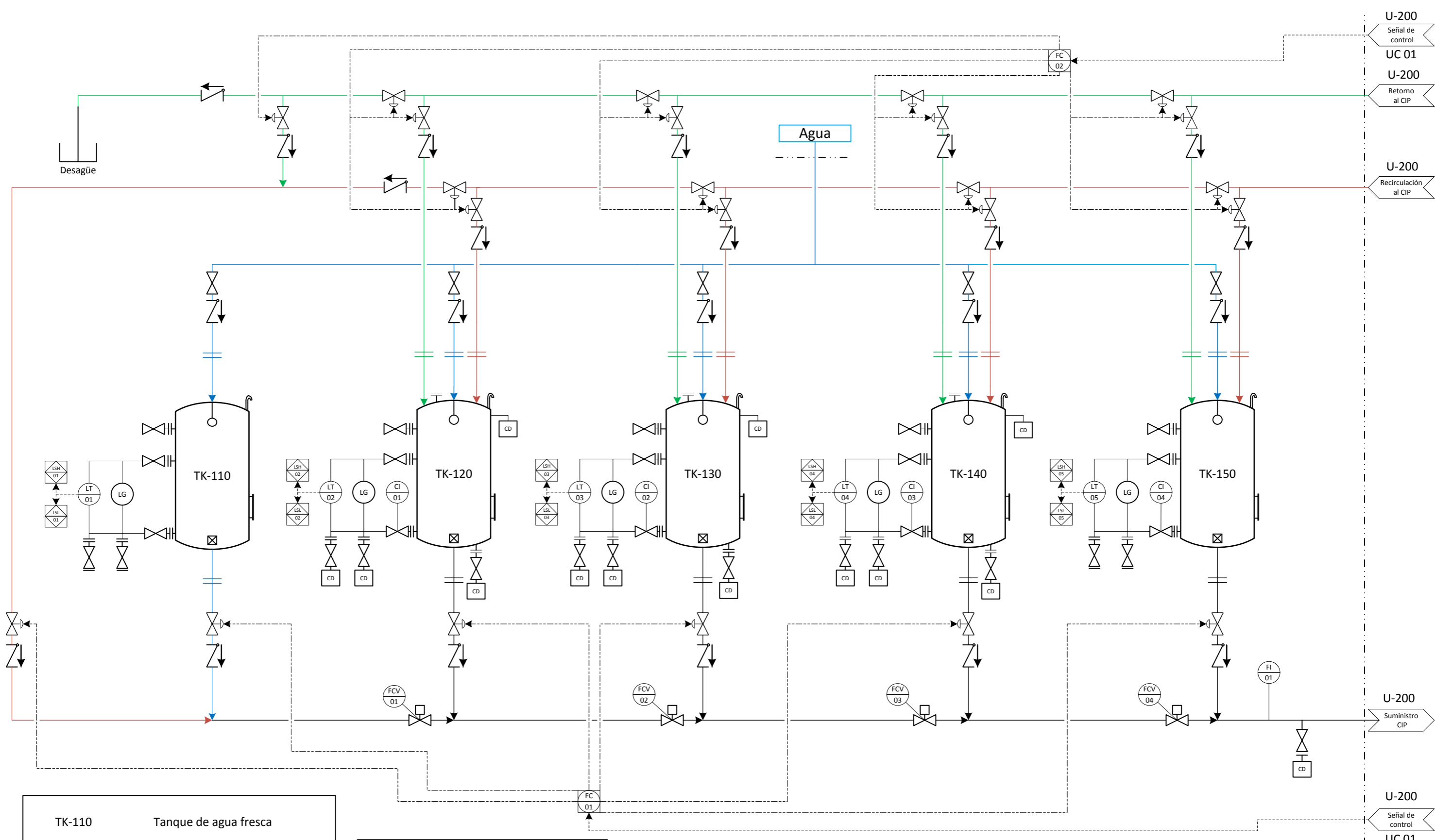
Timperley, D. y Smeulders, C. 1988. Cleaning of dairy HTST plate heat exchangers: optimization of the single-stage procedure. *Journal of the Society of Dairy Technology*. 1988, 41, págs. 4-7.

Ward, O. P. 1989. *Bioteconología de la fermentación*. Zaragoza : Acribia, 1989.

Wildbrett, G. 2000. *Limpieza y desinfección en la industria alimentaria*. [trad.] J. Esaín. Zaragoza : Acribia, 2000.

Wranglèn, G. 1985. *Korrosion und Korrosionsschutz*. Berlín : Springer Verlag, 1985.

DIAGRAMAS DE INSTRUMENTACIÓN (P&ID)



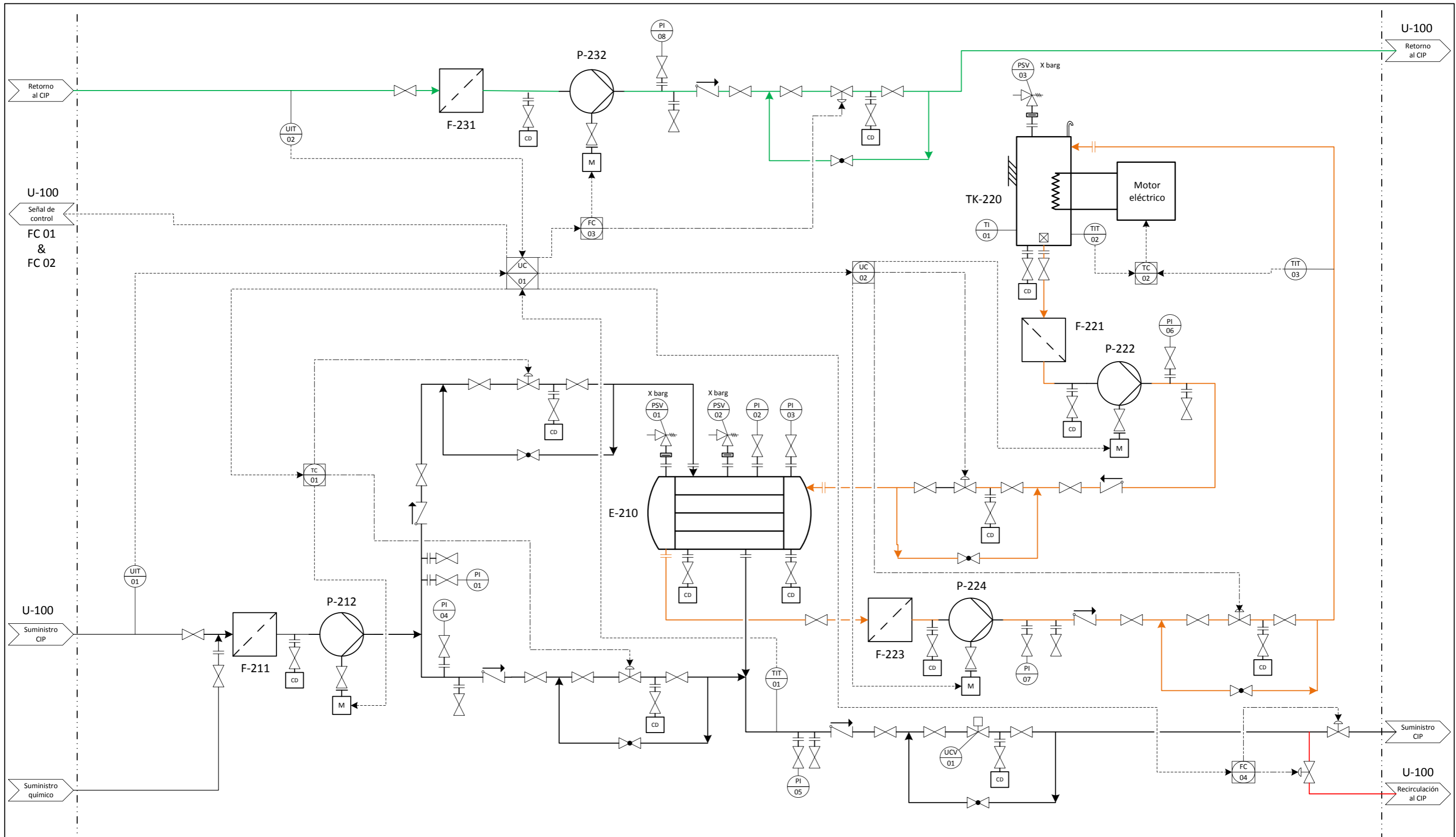
TK-110	Tanque de agua fresca
TK-120	Tanque de desinfectante
TK-130	Tanque de solución alcalina
TK-140	Tanque de solución ácida
TK-150	Tanque de agua recuperada

	Línea de flujo
	Línea de agua
	Línea de recirculación
	Línea de retorno

	Señal eléctrica
	Señal neumática


 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
 GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

SISTEMA DE LIMPIEZA CIP EN UNA INDUSTRIA DE FABRICACIÓN DE CERVEZA			
VIRUEGA SEVILLA, DAVID			
TAMAÑO	CONVOCATORIA	Nº DIBUJO	REV.
A3	Junio 2018	A3-P&ID-100-2	2
ESCALA	1:100	U-100	HOJA
			1 DE 2



E-210 Cambiador de carcasa y tubos
 TK-220 Tanque de aceite térmico

- Línea de flujo
- Línea de aceite
- Línea de recirculación
- Línea de retorno

- - - - - Señal eléctrica
- - - - - Señal neumática



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
 GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

SISTEMA DE LIMPIEZA CIP EN UNA INDUSTRIA DE FABRICACIÓN DE CERVEZA				
VIRUEGA SEVILLA, DAVID				
TAMAÑO	CONVOCATORIA	Nº DIBUJO	REV.	
A3	Junio 2018	A3-P&ID-200-2	2	
ESCALA	1:100	U-200	HOJA	2 DE 2

ANEJOS

ANEJO 1: CLASIFICACIÓN DE BACTERIAS IMPLICADAS EN
PRODUCTOS ALIMENTARIOS

GRAM -

Forma en espiral - Aerobio microaerófilo - Sección 2 - *Campylobacter*

Bacilos

- Aerobios - Sección 4
 - *Pseudomonas*
 - *Xanthomonas*
 - *Halococcus*
 - *Acetobacter*
 - *Gluconobacter*
 - *Legionella*
 - *Alcaligenes*
 - *Brucella*

- Aerobias-Anaerobias facultativas - Sección 5
 - *Escherichia*
 - *Shigella*
 - *Salmonella*
 - *Citrobacter*
 - *Klebsiella*
 - *Entrobacter*
 - *Erwinia*
 - *Serratia*
 - *Hafnia*
 - *Edwarsiella*

- *Proteus*
- *Yersinia*
- *Vibrio*
- *Aeromonas*
- *Zymomonas*
- Anaerobios – Sección 6 – *Bacteroides*

GRAM +

Cocos

- No esporulados – Sección 12
 - *Micrococcus*
 - *Staphylococcus*
 - *Streptococcus*
 - *Leuconostoc*
 - *Aerococcus*
 - *Peptococcus*
 - *Peptostreptococcus*
 - *Ruminococcus*
 - *Sarcina*

Cocos esporulados y Bacilos esporulados

- Sección 13
 - *Bacillus*
 - *Clostridium*
 - *Sporosarcina*

Bacilos

- No esporulados – Sección 14
 - *Lactobacillus*
 - *Listeria*
 - *Erysipelothrix*
 - *Brochotrix*

- Formas irregulares – Sección 15

- *Corynebacterium*
- *Brevibacterium*
- *Propionibacterium*
- *Bifidobacterium*

ANEJO 2: PROPIEDADES DEL ACERO AISI 316

ACERO AISI 316 (Fe/Cr18/Ni10/Mo3)

Propiedades Eléctricas

Resistividad eléctrica: 70-78 $\mu\text{Ohm}\cdot\text{cm}$

Propiedades Físicas

Densidad: 7,96 g/cm^3

Punto de fusión: 1370-1400 °C

Propiedades Mecánicas

Alargamiento: inferior al 60%

Dureza Brinell: 160-190

Impacto Izod: 20-136 J/m

Módulo de Elasticidad: 190-210 GPa

Resistencia a la Tracción: 460-860 MPa

Propiedades Térmicas

Calor Específico (23°C): 502 J/kg·K

Coefficiente de Expansión Térmica (20-100°C): $16-18 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

Conductividad Térmica (23°C): 16,3 W/m·K

ANEJO 3: HOJAS DE SEGURIDAD

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ACIDO ORTOFOSFORICO

ICSC: 1008



ACIDO ORTOFOSFORICO

Acido fosfórico



Masa molecular: 98.0

Nº CAS 7664-38-2
 Nº RTECS TB6300000
 Nº ICSC 1008
 Nº NU 1805
 Nº CE 015-011-00-6



TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSION			
EXPOSICION		¡EVITAR LA GENERACIÓN DE NIEBLAS!	
• INHALACION	Sensación de quemazón, tos, jadeo, dolor de garganta.	Ventilación.	Aire limpio, reposo y proporcionar asistencia médica.
• PIEL	Enrojecimiento, dolor, ampollas, quemaduras.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica.
• OJOS	Enrojecimiento, dolor, quemaduras profundas graves.	Gafas ajustadas de seguridad o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
• INGESTION	Dolor abdominal, sensación de quemazón, shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, NO provocar el vómito, dar a beber agua abundante y proporcionar asistencia médica.

DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente tapado, recoger cuidadosamente el residuo y trasladarlo a continuación a un lugar seguro. (Protección personal adicional: traje de protección química incluyendo equipo autónomo de respiración).	Separado de alimentos y piensos. Ver Peligros Químicos. Mantener en lugar seco y bien cerrado.	No transportar con alimentos y piensos. símbolo C R: 34 S: (1/2-)-26-45 Nota B Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: III CE:



VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ACIDO ORTOFOSFORICO

ICSC: 1008

D A T O S I M P O R T A N T E S	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO Cristales higroscópicos, incoloros.</p> <p>PELIGROS FISICOS</p> <p>PELIGROS QUIMICOS La sustancia polimeriza violentamente bajo la influencia de compuestos azo, epóxidos y otros compuestos polimerizables. Por combustión, formación de humos tóxicos (óxidos de fósforo). La sustancia se descompone en contacto con alcoholes, aldehídos, cianuros, cetonas, fenoles, ésteres, sulfuros, halogenados orgánicos, produciendo humos tóxicos. La sustancia es moderadamente ácida. Ataca a los metales formando gas inflamable de hidrógeno. Reacciona violentamente con bases.</p> <p>LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 1 mg/m³; (como STEL): 3 mg/m³ (ACGIH 2004). MAK: 2 mg/m³ (Fracción inhalable); Categoría de limitación de pico: I(2), Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2005). LEP UE: 1 mg/m³ (8h), 2 mg/m³ (corto plazo)</p>	<p>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACION Por evaporación de esta sustancia a 20°C no se alcanza, o se alcanza sólo muy lentamente, una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosiva por ingestión.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</p>
---	---	---

PROPIEDADES FISICAS	Punto de fusión: 42°C Densidad (g/cm ³): 1.9 Solubilidad en agua: Muy elevada	Presión de vapor, Pa a 20°C: 4 Se descompone por debajo del punto de ebullición a 213°C
----------------------------	---	--

DATOS AMBIENTALES	
--------------------------	---

NOTAS

NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadir MUY LENTAMENTE el ácido al agua mezclando continuamente.

Código NFPA: H 2; F 0; R 0;

INFORMACION ADICIONAL

FISQ: 4-012
ACIDO ORTOFOSFORICO

Los valores LEP pueden consultarse en línea en la siguiente dirección:
<http://www.insht.es/>

ICSC: 1008

ACIDO ORTOFOSFORICO

© CCE, IPCS, 2005

NOTA LEGAL IMPORTANTE:

Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales.

ÁCIDO NÍTRICO

ICSC: 0183

Octubre 2006

CAS: 7697-37-2 **Ácido nítrico concentrado**
 RTECS: QU5775000 (70%)
 NU: 2031 HNO₃
 CE Índice Anexo I: 007-004-00-1 Masa molecular: 63,0
 CE / EINECS: 231-714-2



TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible pero facilita la combustión de otras sustancias. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes. El calentamiento intenso puede producir aumento de la presión con riesgo de estallido.	NO poner en contacto con sustancias inflamables. NO poner en contacto con productos químicos combustibles u orgánicos.	En caso de incendio en el entorno: NO espuma.
EXPLOSIÓN	Riesgo de incendio y explosión en contacto con muchos compuestos orgánicos frecuentes.		En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Sensación de quemazón. Tos. Dificultad respiratoria. Jadeo. Dolor de garganta. Síntomas no inmediatos (ver Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
Piel	Quemaduras cutáneas graves. Dolor. Decoloración amarilla.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras..	Pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad). Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
Ingestión	Dolor de garganta. Dolor abdominal. Sensación de quemazón en la garganta y el pecho. Shock o colapso. Vómitos.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	NO provocar el vómito. Dar a beber uno o dos vasos de agua. Reposo. Proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
¡Evacuar la zona de peligro! Consultar a un experto. Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración. Ventilar. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables. Neutralizar cuidadosamente el residuo con carbonato sódico. Eliminarlo a continuación con agua abundante. NO absorber en serrín u otros absorbentes combustibles.	Envase irrompible; colocar el envase frágil dentro de un recipiente irrompible cerrado. No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: O, C R: 8-35 S: (1/2-)23-26-36-45 Nota: B Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 8 Riesgos Subsidiarios de las NU: 5.1 Grupo de Envasado NU: I Clasificación GHS Peligro Puede ser corrosiva para los metales. Mortal en caso de ingestión. Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares. Provoca daños en las vías respiratorias si se inhala. Provoca daños en el tracto digestivo por ingestión. Provoca daños en las vías respiratorias y en los dientes tras exposición prolongada o repetida si se inhala.

RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-80S2031-I Código NFPA: H4; F0; R0; OX	Separado de sustancias combustibles y reductoras, bases y de alimentos y piensos orgánicos. Mantener en lugar fresco, seco y bien ventilado.

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2007



ÁCIDO NÍTRICO

ICSC: 0183

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO

Líquido incoloro a amarillo, de olor acre.

PELIGROS QUÍMICOS

La sustancia se descompone al calentarla suavemente, produciendo óxidos de nitrógeno. La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores, p.ej. turpentina, carbón, alcohol. La sustancia es un ácido fuerte, reacciona violentamente con bases y es corrosiva para los metales, formando gas combustible (hidrógeno-ver FISQ:0001). Reacciona violentamente con compuestos orgánicos.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN

TLV: 2 ppm como TWA, 4 ppm como STEL; (ACGIH 2006). MAK: IIb (no establecido pero hay datos disponibles) (DFG 2008).

VÍAS DE EXPOSICIÓN

Efectos locales graves por todas las vías de exposición.

RIESGO DE INHALACIÓN

Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN

La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosiva por ingestión. La inhalación puede causar edema pulmonar (ver Notas). Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata (ver Notas).

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA

Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida al vapor. La sustancia puede afectar a los dientes, dando lugar a erosión dental.

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de ebullición: 121°C

Punto de fusión: -41,6°C

Densidad relativa (agua = 1): 1,4

Solubilidad en agua: miscible

Presión de vapor, kPa a 20°C: 6,4

Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2,2

Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1,07

Coefficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0,21

DATOS AMBIENTALES

NOTAS

Está indicado un examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto hasta que han pasado unas pocas horas o incluso días y se agravan con el esfuerzo físico. Esta Ficha ha sido parcialmente actualizada en enero de 2008: ver Límites de exposición.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2011):

VLA-EC: 1 ppm, 2,6 mg/m³

Notas: Agente químico que tiene un valor límite indicativo por la UE

NOTA LEGAL

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ACIDO PERACETICO (Estabilizado)

ICSC: 1031



Ácido peroxiacético
 Ácido etanoperoxoico
 Hidroperóxido de acetilo
 $C_2H_4O_3$ / CH_3COOOH
 Masa molecular: 76.1

Nº CAS 79-21-0
 Nº RTECS SD8750000
 Nº ICSC 1031
 Nº NU 3105
 Nº CE 607-094-00-8



TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Inflamable. Explosivo.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. NO poner en contacto con sustancias inflamables. NO poner en contacto con superficies calientes.	Agua pulverizada.
EXPLOSION	Por encima de 40.5°C pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire.	Por encima de 40.5°C, sistema cerrado, ventilación y equipo eléctrico a prueba de explosión. No exponer a fricción o choque.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.
EXPOSICION		¡EVITAR TODO CONTACTO!	
• INHALACION	Sensación de quemazón. Tos. Dificultad respiratoria. Jadeo. Dolor de garganta. Síntomas no inmediatos (véanse Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Proporcionar asistencia médica. Véanse Notas.
• PIEL	¡PUEDE ABSORBERSE! Enrojecimiento. Quemaduras cutáneas. Dolor. Ampollas.	Guantes protectores. Traje de protección.	Aclarar con agua abundante, después quitar la ropa contaminada y aclarar de nuevo. Proporcionar asistencia médica.
• OJOS	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras profundas graves.	Pantalla facial, o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
• INGESTION	Dolor abdominal. Sensación de quemazón. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS

ALMACENAMIENTO

ENVASADO Y ETIQUETADO

Evacuar la zona de peligro. Consultar a un experto. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes tapados de plástico. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO verterlo al alcantarillado. NO absorber en serrín u otros absorbentes combustibles. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. (protección personal adicional: traje de protección completo incluyendo equipo autónomo de respiración).

A prueba de incendio. Medidas para contener el efluente de extinción de incendios. Separado de sustancias combustibles y reductoras. Véanse Peligros Químicos. Mantener en lugar fresco. Almacenar solamente si está estabilizado.

NU (transporte):
Ver pictograma en cabecera
Clasificación de Peligros NU: 5.2
Grupo de Envasado NU: II

CE:
símbolo O
símbolo C
símbolo N
R: 7-10-20/21/22-35-50
S: 1/2-3/7-14-36/37/39-45-61
Nota: B, D



VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE

ICSC: 1031

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2003

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ACIDO PERACETICO (Estabilizado)

ICSC: 1031

D A T O S I M P O R T A N T E S	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido incoloro, de olor característico.</p> <p>PELIGROS QUIMICOS Puede descomponerse con explosión por choque, fricción o sacudida. Puede explotar por calentamiento intenso. La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores. La sustancia es un ácido débil. Ataca muchos metales incluyendo aluminio.</p> <p>LIMITES DE EXPOSICION TLV no establecido. MAK: categoría 3B (DFG 2002).</p>	<p>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión</p> <p>RIESGO DE INHALACION No puede indicarse la velocidad a la que se alcanza una concentración nociva en el aire por evaporación de esta sustancia a 20°C.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia es corrosivo para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación puede originar edema pulmonar (véanse Notas).</p>
	<p>PROPIEDADES FISICAS</p> <p>Punto de ebullición: 105°C Punto de fusión: 0°C Densidad relativa (agua = 1): 1.2 Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, kPa a 20°C: 2.6</p>	<p>Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.6 Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.04 Punto de inflamación: 40.5° C c.a. Temperatura de autoignición: 200°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: véanse Notas</p>
<p>DATOS AMBIENTALES</p>	<p>La sustancia es muy tóxica para los organismos acuáticos.</p>	

NOTAS

No se encuentran referenciados en la bibliografía los límites de explosividad. Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son, por ello, imprescindibles. Estabilizadores o inhibidores añadidos pueden influir sobre las propiedades toxicológicas de esta sustancia; consultar a un experto. Enjuagar la ropa contaminada con agua abundante (peligro de incendio).

Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-52G01b
Código NFPA: H 3; F 2; R 4; ox

INFORMACION ADICIONAL

Los valores LEP pueden consultarse en línea en la siguiente dirección: <http://www.mtas.es/insht/practice/vlas.htm>

Última revisión IPCS: 2000

Traducción al español y actualización de valores límite y etiquetado: 2003

FISQ: 6-017

ICSC: 1031

ACIDO PERACETICO (Estabilizado)

© CE, IPCS, 2003

NOTA LEGAL IMPORTANTE:

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

HOJA DE SEGURIDAD II HIDROXIDO DE SODIO

FORMULA: NaOH.

PESO MOLECULAR: 40.01 g/mol

COMPOSICION: Na: 57.48 %; H: 2.52 % y O:40.00%

GENERALIDADES:

El hidróxido de sodio es un sólido blanco e industrialmente se utiliza como disolución al 50 % por su facilidad de manejo. Es soluble en agua, desprendiéndose calor. Absorbe humedad y dióxido de carbono del aire y es corrosivo de metales y tejidos.

Es usado en síntesis, en el tratamiento de celulosa para hacer rayón y celofán, en la elaboración de plásticos, jabones y otros productos de limpieza, entre otros usos.

Se obtiene, principalmente por electrólisis de cloruro de sodio, por reacción de hidróxido de calcio y carbonato de sodio y al tratar sodio metálico con vapor de agua a bajas temperaturas.

NUMEROS DE IDENTIFICACION:

CAS: 1310-73-2

UN: sólido:1823

disolución: 1824

NIOSH: WB 4900000

NOAA: 9073

STCC: 4935235

RTECS: WB4900000

NFPA: Salud:3 Reactividad:1 Fuego: 0

HAZCHEM CODE: 2R

El producto está incluido en : CERCLA, EHS, SARA, RCRA.

MARCAJE:SOLIDO CORROSIVO.

SINONIMOS:

SOSA

SOSA CAUSTICA

LEJIA

Otros idiomas:

HYDROXYDE DE SODIUM (FRANCES)

NATRIUMHYDROXID (ALEMAN)

AETZNATRON (ALEMAN)

NATRIUMHYDROXYDE (HOLANDES)

SODIO(IDROSSIDO DI) (ITALIANO)

En inglés:

ASCARITE

CAUSTIC SODA

COLLO-GRILLREIN

COLLO-TAPETTA

LEWIS-RED DEVIL LYE

SODIUM HYDRATE

SODIUM HYDROXIDE

LYE

SODA LYE

WHITE CAUSTIC

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS:

Punto de ebullición: 1388°C (a 760 mm de Hg)

Punto de fusión: 318.4 °C

Índice de refracción a 589.4 nm: 1.433 (a 320 °) y 1.421 (a 420 °C)

Presión de vapor: 1mm (739 °C)

Densidad: 2.13 g/ml (25 °C)

Solubilidad: Soluble en agua, alcoholes y glicerol, insoluble en acetona (aunque reacciona con ella) y éter.

1 g se disuelve en 0.9 ml de agua, 0.3 ml de agua hirviendo, 7.2 ml de alcohol etílico y 4.2 ml de metanol.

pH de disoluciones acuosas (peso/peso): 0.05 %:12; 0.5 %: 13 y 5 %: 14

En la tabla a continuación, se presentan algunas propiedades de disoluciones acuosas de NaOH.

PROPIEDADES DE DISOLUCIONES ACUOSAS DE NaOH

Concentración (% peso/peso)	d_4^{15}	Punto de congelación (°C)	Punto de Ebullición (°C)
5	1.056	-4	102
10	1.111	- 10	105
20	1.222	-26	110
30	1.333	1	115

40	1.434	15	125
50	1.530	12	140

Calor específico: 0.35 cal/g °C (20 °C)

Calor latente de fusión: 40 cal/g

Calor de formación: 100.97 Kcal/mol (forma alfa) y 101.95 Kcal/mol (forma beta)

Calor de transición de la forma alfa a la beta: 24.69 cal/g

Temperatura de transición: 299.6 °C

Energía libre de formación : 90.7 Kcal/ mol (a 25 °C y 760 mm de Hg)

PROPIEDADES QUIMICAS:

El NaOH reacciona con metales como Al, Zn y Sn, generando aniones como AlO_2^- , ZnO_2^- y SnO_3^{2-} e hidrógeno. Con los óxidos de estos metales, forma esos mismos aniones y agua. Con cinc metálico, además, hay ignición.

Se ha informado de reacciones explosivas entre el hidróxido de sodio y nitrato de plata amoniacal caliente, 4-cloro-2-metil-fenol, 2-nitro anisol, cinc metálico, N,N'-bis(trinitro-etil)-urea, azida de cianógeno, 3-metil-2-penten-4-in-1-ol, nitrobenzeno, tetrahidrobórato de sodio, 1,1,1-tricloroetanol, 1,2,4,5-tetraclorobenceno y circonio metálico.

Con bromo, cloroformo y triclorometano las reacciones son vigorosas o violentas.

La reacción con sosa y tricloroetileno es peligrosa, ya que este último se descompone y genera dicloroacetileno, el cual es inflamable.

NIVELES DE TOXICIDAD:

LD₅₀ (en conejos): 500 ml/Kg de una disolución al 10 %.

Niveles de irritación a piel de conejos: 500 mg/ 24 h, severa

Niveles de irritación a ojos de conejos: 4 mg, leve; 1 % o 50 microg/24 h, severo

RQ: 1000

IDLH: 250 mg/m³

México:

CPT: 2 mg/m³

TLV-C: 2 mg/m³

Estados Unidos

Reino Unido:

Periodos largos: 2 mg/m³

Periodos cortos: 2 mg/m³

Francia:

VME: 2 mg/m³

Alemania:

MAK: 2 mg/m³

Suecia:

Límite máximo: 2 mg/m³

MANEJO:

Equipo de protección personal:

Para el manejo del NaOH es necesario el uso de lentes de seguridad, bata y guantes de neopreno, nitrilo o vinilo. Siempre debe manejarse en una campana y no deben utilizarse lentes de contacto al trabajar con este compuesto.

En el caso de trasvasar pequeñas cantidades de disoluciones de sosa con pipeta, utilizar una propipeta, NUNCA ASPIRAR CON LA BOCA.

RIESGOS:

Riesgos de fuego o explosión:

Este compuesto no es inflamable sin embargo, puede provocar fuego si se encuentra en contacto con materiales combustibles. Por otra parte, se generan gases inflamables al ponerse en contacto con algunos metales. Es soluble en agua generando calor.

Riesgos a la salud:

El hidróxido de sodio es irritante y corrosivo de los tejidos. Los casos mas comunes de accidente son por contacto con la piel y ojos, así como inhalación de neblinas o polvo.

Inhalación: La inhalación de polvo o neblina causa irritación y daño del tracto respiratorio. En caso de exposición a concentraciones altas, se presenta ulceración nasal.

A una concentración de 0.005-0.7 mg/m³, se ha informado de quemaduras en la nariz y tracto. En estudios con animales, se han reportado daños graves en el tracto respiratorio, después de una exposición crónica.

Contacto con ojos: El NaOH es extremadamente corrosivo a los ojos por lo que las salpicaduras son muy peligrosas, pueden provocar desde una gran irritación en la córnea, ulceración, nubosidades y, finalmente, su desintegración. En casos mas severos puede haber ceguera permanente, por lo que los primeros auxilios inmediatos son vitales.

Contacto con la piel: Tanto el NaOH sólido, como en disoluciones concentradas es altamente corrosivo a la piel.

Se han hecho biopsias de piel en voluntarios a los cuales se aplicó una disolución de NaOH 1N en los brazos de 15 a 180 minutos, observándose cambios progresivos, empezando con disolución de células en las partes callosas, pasando por edema y llegar hasta una destrucción total de la epidermis en 60 minutos. Las disoluciones de concentración menor del 0.12 % dañan la piel en aproximadamente 1 hora. Se han reportado casos de disolución total de cabello, calvicie reversible y quemaduras del cuero cabelludo en trabajadores expuestos a disoluciones concentradas de sosa por varias horas. Por otro lado, una disolución acuosa al 5% genera necrosis cuando se aplica en la piel de conejos por 4 horas.

Ingestión: Causa quemaduras severas en la boca, si se traga el daño es, además, en el esófago produciendo vómito y colapso.

Carcinogenicidad: Este producto está considerado como posible causante de cáncer de esófago, aún después de 12 a 42 años de su ingestión. La carcinogénesis puede deberse a la destrucción del tejido y formación de costras, mas que por el producto mismo.

Mutagenicidad: Se ha encontrado que este compuesto es no mutagénico.

Peligros reproductivos: No hay información disponible a este respecto.

ACCIONES DE EMERGENCIA:

Primeros Auxilios:

Inhalación: Retirar del área de exposición hacia una bien ventilada. Si el accidentado se encuentra inconciente, no dar a beber nada, dar respiración artificial y rehabilitación cardiopulmonar. Si se encuentra conciente, levantarlo o sentarlo lentamente, suministrar oxígeno, si es necesario.

Ojos: Lavar con abundante agua corriente, asegurándose de levantar los párpados, hasta eliminación total del producto.

Piel: Quitar la ropa contaminada inmediatamente. Lavar el área afectada con abundante agua corriente.

Ingestión: No provocar vómito. Si el accidentado se encuentra inconciente, tratar como en el caso de inhalación. Si está conciente, dar a beber una cucharada de agua inmediatamente y después, cada 10 minutos.

EN TODOS LOS CASOS DE EXPOSICION, EL PACIENTE DEBE SER TRANSPORTADO AL HOSPITAL TAN PRONTO COMO SEA POSIBLE.

Control de fuego:

Pueden usarse extinguidores de agua en las áreas donde haya fuego y se almacene NaOH, evitando que haya contacto directo con el compuesto.

Fugas o derrames:

En caso de derrame, ventilar el área y colocarse la ropa de protección necesaria como lentes de seguridad, guantes, overoles químicamente resistentes, botas de seguridad. Mezclar el sólido derramado con arena seca, neutralizar con HCl diluido, diluir con agua, decantar y tirar al drenaje. La arena puede desecharse como basura doméstica.

Si el derrame es de una disolución, hacer un dique y neutralizar con HCl diluido, agregar gran cantidad de agua y tirar al drenaje.

Desechos:

Para pequeñas cantidades, agregar lentamente y con agitación, agua y hielo. Ajustar el pH a neutro con HCl diluido. La disolución acuosa resultante, puede tirarse al drenaje diluyéndola con agua. Durante la neutralización se desprende calor y vapores, por lo que debe hacerse lentamente y en un lugar ventilado adecuadamente.

ALMACENAMIENTO:

El hidróxido de sodio debe ser almacenado en un lugar seco, protegido de la humedad, agua, daño físico y alejado de ácidos, metales, disolventes clorados, explosivos, peróxidos orgánicos y materiales que puedan arder facilmente.

REQUISITOS DE TRANSPORTE Y EMPAQUE:

Transportación terrestre:

Marcaje:

Transportación aérea:

Código ICAO/IATA (No. ONU)

sólido: 1823. Sustancia corrosiva.
Disolución: 1824. Sustancia corrosiva.
HAZCHEM Code: 2R.
Transportación marítima:
Número en IMDG: 8125
Clase: 8
Marcaje: corrosivo.

sólido: 1823
disolución: 1824
Clase: 8
Marcaje: corrosivo.
Cantidad máxima en vuelo comercial
sólido: 15 Kg
disolución: 1 l
Cantidad máxima en vuelo de carga:
sólido: 50 Kg
disolución: 30 l