



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Química

Sistema de limpieza CIP en una industria de fabricación de quesos

Autor:

Martínez Lorenzo, María Victoria

Tutor:

**Rodríguez García, Félix Joaquín
Departamento de Química
analítica**

Valladolid, enero de 2019.



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**



A mis padres, quienes, con su cariño, confianza y paciencia, han hecho más fácil que pudiera alcanzar esta meta. Gracias por inculcar en mí el ejemplo de constancia y esfuerzo. Mención especial a mi madre por su implicación en este proyecto.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Resumen:

El presente trabajo de fin de grado se basa en plantear los requisitos y la viabilidad de implementar, un sistema de limpieza automatizado *Cleaning in Place* (CIP) en una fábrica de quesos, con el fin de evitar la intervención humana en este proceso industrial.

En primer lugar, se detallan las condiciones necesarias de limpieza y desinfección que se requieren en una industria alimentaria, centrándonos en la industria láctea dedicada a la fabricación de quesos, todo ello según la normativa vigente presente en los anexos.

Continuamos describiendo la industria quesera, sobre la que sería posible la implantación de este sistema, para seguir hablando de las características, productos utilizados, factores a tener en cuenta, funcionamiento con los pertinentes controladores, validación y ventajas del CIP.

Por último, se realiza un posible diseño genérico del sistema CIP, planteando productos, tipo de sistema, dispositivos, secuencia de operaciones e instrumentación (acompañada de los planos pertinentes) a emplear. Así como un dimensionado, sin cálculos concretos, que pueda ser empleado para cualquier industria de fabricación de queso que lo requiriese.

Palabras clave:

Limpieza, desinfección, CIP, industria láctea, queso.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Abstract:

The present end of degree project is based on the plant, the requirements and the feasibility of the implementation, the automated cleaning system in place (CIP) in a cheese factory, in order to avoid human intervention in this process industrial.

In the first place, the necessary cleaning and disinfection conditions that are required in a food industry are detailed, focusing on the dairy industry dedicated to the manufacture of cheeses, all according to the regulations in force in the annexes.

We continue describing the cheese industry, about the possibility of implementing this system, to continue talking about the characteristics, the results, the factors to be taken into account, the operation of the relevant ones, the validation and the advantages of the CIP.

Finally, make a possible generic design of the CIP system, proposing products, type of system, devices, sequence of operations and instrumentation (accompanied by the relevant plans) to be used. As well as a sizing, without specific results, that can be used for any cheese making industry that may seem.

Keywords:

Cleaning in place, disinfection, CIP, dairy industry, cheese.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	15
1.1. Descripción.....	17
1.2. Antecedentes de la limpieza en la industria alimentaria.....	17
1.3. Objetivos.....	18
CAPÍTULO 2. PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA LIMPIEZA	21
2.1. Suciedad.....	23
2.2. Composición de los residuos	23
2.3. Proceso de envejecimiento	23
2.4. Eliminación de la suciedad mediante limpieza	24
2.4.1. Grados de limpieza.....	24
2.4.2. Imbibición	24
2.4.3. Aumento de la solubilidad	25
2.4.4. Emulsión y humedecimiento	25
2.4.5. Eliminación de la suciedad de las superficies	25
2.4.6. Procesos en la solución	26
2.5. Desinfección.....	26
2.5.1. Desinfección térmica	26
2.5.2. Desinfección química	27
2.6. Limpieza en la industria láctea.....	27
2.7. Control de residuos de productos limpiadores y desinfectantes en los alimentos.	27
CAPÍTULO 3. GESTIÓN DE LIMPIEZA, DESINFECCIÓN Y SEGURIDAD EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA SEGÚN EL DEPARTAMENTO GENERAL DE SALUD PÚBLICA	31
3.1. Plan de limpieza y desinfección.....	33
3.1.1. Programa de limpieza y desinfección (L+D)	33
3.1.2. Programa de comprobación de la eficacia del programa de limpieza y desinfección	33
3.2. Requisitos del equipo	35
3.2.1. Útiles y equipos en contacto con los productos alimenticios.....	35
3.2.2. Dispositivos de control de los equipos	35



3.2.3. Ubicación e instalación de los equipos	35
3.3. Seguridad en la industria alimentaria	36
3.3.1. Sistema de gestión de la seguridad de los alimentos	37
3.4. Gestión ambiental de residuos en la industria alimentaria.....	39
3.5. Gestión de residuos en industrias lácteas.....	40
3.5.1. Contenedores de desperdicios de productos alimenticios, de subproductos no comestibles y otros residuos	40
3.5.2. Diseño, disposición y mantenimiento de locales o depósitos	41
3.5.3. Gestión de residuos	41
CAPÍTULO 4. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL QUESO.....	43
4.1. Materias primas	45
4.2. Tipos de quesos	46
4.3. Equipos implicados.....	48
4.4. Proceso industrial	49
4.4.1. Recepción, preparación y conservación de la leche en fábrica	50
4.4.2. Pasteurización	52
4.4.3. Trabajo en cuba.....	53
4.4.4. Moldeo y salado.....	53
4.4.5. Maduración.....	54
4.4.6. Preparación preventa	55
4.5. Puntos críticos.....	56
CAPÍTULO 5. SISTEMA DE LIMPIEZA “CIP”	59
5.1. Fundamento	61
5.2. Elementos de los que depende la eficacia del proceso CIP	61
5.2.1. Temperatura	62
5.2.2. Energía mecánica	63
5.2.3. Acción química	66
5.2.4. Tiempo	67
5.2.5. Otros factores que determinan la efectividad del sistema.....	68
5.3. Productos químicos de limpieza y desinfectantes a utilizar	72
5.4. Operaciones del programa en el sistema CIP.....	77
5.5. Componentes del sistema CIP.....	79



5.6. Diferentes tipos de limpieza CIP con sus fases.....	80
5.6.1. Sistema CIP de llenado, ebullición y descarga	80
5.6.2. Sistema CIP de una sola vía.....	81
5.6.3. Sistema CIP de empleo no recuperable	82
5.6.4. Sistema CIP de empleo repetido.....	83
5.7. Centralización o descentralización del sistema CIP.....	85
5.7.1. Estación CIP centralizada.	86
5.7.2. Unidad CIP centralizada con varias estaciones CIP satélites	86
5.7.3. Sistema descentralizado de estaciones CIP más pequeñas.	87
5.8. Dispositivos de limpieza	88
5.8.1. Dispositivos estacionarios de pulverización	89
5.8.2. Dispositivos rotativos de pulverización	92
5.8.3. Dispositivos de chorro rotativo.....	94
5.9. Automatización del sistema. Instrumentación	95
5.10. Control de aguas, soluciones de limpieza y equipos limpiados. Auto limpieza del sistema CIP.	97
5.11. Validación del proceso	97
5.12. Ventajas y desventajas de este sistema.....	98
CAPÍTULO 6. DISEÑO DEL SISTEMA CIP	101
6.1. Condiciones de diseño de la línea del sistema CIP.....	103
6.2. Tipo de sistema CIP empleado y componentes del mismo	104
6.2.1. Equipos y dispositivos del sistema CIP diseñado	105
6.3. Dispositivos de limpieza empleados	106
6.4. Productos de limpieza y desinfección empleados en el sistema de limpieza CIP diseñado.....	108
6.4.1. Evaluaciones de las soluciones y agua de limpieza.....	109
6.5. Secuencia de operaciones y frecuencia	110
6.6. Cálculos. Dimensionado del sistema.	112
6.6.1. Tuberías.....	112
6.6.2. Bombas	115
6.6.3. Tanques.....	116
6.6.4. Intercambiador de calor.....	117



6.7. Instrumentación para controlar el sistema CIP	120
6.8. Comprobaciones de la eficacia del sistema CIP.....	121
CAPÍTULO 7. SEGURIDAD.....	123
7.1. Hoja de datos de seguridad	125
CAPÍTULO 8. IMPACTO AMBIENTAL.....	129
8.1. Residuos de productos limpiadores	131
8.2. Efluentes y su posterior tratamiento	131
CONCLUSIONES.....	133
BIBLIOGRAFÍA	135
PLANOS	137
ANEXOS	141
ANEXO I: HOJAS DE SEGURIDAD	142
ANEXO II: CUESTIONARIOS DE AUDITORIAS.....	143
ANEXO III: LEGISLACIÓN	144



ÍNDICE DE TABLAS, ILUSTRACIONES Y ECUACIONES

Tabla 1: Composición química de algunos residuos de la leche, (Guthrie, 1980) 23

Tabla 2: Métodos analíticos de residuos de productos desinfectantes en alimentos..... 29

Tabla 3: Métodos determinantes de yoduros en la leche (IDF, 1982)..... 30

Tabla 4: Variaciones de la tensión superficial de la leche entera por adición de un producto limpiador con compuesto de amonio cuaternario (A. Leandro-Montes, 1970)30

Tabla 5: Análisis de peligros y puntos de control críticos según el trabajo de fin de grado de la universidad de la rioja; planta artesanal de elaboración de queso fresco y tierno de oveja..... 58

Tabla 6: Secuencia de operaciones para la limpieza de un tanque de refrigeración 111

Ilustración 1: Secuencia de implantación de un plan APPCC..... 39

Ilustración 2: Plano de una pequeña instalación de fabricación de queso según el manual de aplicación del sistema APPCC en industrias lácteas de Castilla La Mancha..... 49

Ilustración 3: Diagrama de flujo de la fabricación de quesos 50

Ilustración 4: Clarificadora para el centrifugado de la leche 51

Ilustración 5: Pasteurizador para leche 53

Ilustración 6: Sala de maduración del queso 55

Ilustración 7: Círculo de Sinner 62

Ilustración 8: Tiempo de limpieza en función de la temperatura de la solución..... 63

Ilustración 9: Tubería con flujo laminar y con flujo turbulento 63

Ilustración 10: Tiempo de limpieza en función de la velocidad media del líquido en las tuberías según (Smeulders, D. Timperley and C., 1988)..... 65

Ilustración 11: Efecto de la concentración de detergente frente al tiempo de limpieza . 67

Ilustración 12: Sistema CIP de llenado, ebullición y descarga 81

Ilustración 13: Sistema CIP de un solo paso..... 82

Ilustración 14: Sistema CIP de empleo no recuperable 83

Ilustración 15: Sistema CIP de empleo repetido 85

Ilustración 16: Unidad CIP centralizada con varias estaciones CIP satélite 87

Ilustración 17: Unidad CIP donde 6 es un sistema CIP descentralizado 88

Ilustración 18: Dispositivos de limpieza estacionarios 90

Ilustración 19: Dispositivo de pulverización de burbujas 91

Ilustración 20: Dispositivo de pulverización de tubo curvado 91

Ilustración 21: Dispositivo de pulverización estacionaria en racimo..... 92

Ilustración 22: Dispositivos de rociado rotativo 93

Ilustración 23: Dispositivos de limpieza por fuerza reaccionaria..... 93

Ilustración 24: Bolas de pulverización rotatorias controladas..... 94

Ilustración 25: Dispositivos de chorro rotativo..... 95

Ilustración 26: Bola de pulverización estática..... 107

Ilustración 27: Secuencia de operaciones para pasteurizador de leche..... 112

Ilustración 28: Diagrama de Moody..... 114



Ilustración 29: Gestión de la conductividad a 25°C 121

Ecuación 1: Número de Reynolds 65

Ecuación 2: Disolución del hipoclorito de sodio 109

Ecuación 3: Diámetro interior tubería 112

Ecuación 4: Diámetro exterior tubería..... 113

Ecuación 5: Espesor de tubería 113

Ecuación 6: Pérdida de carga en tubería 113

Ecuación 7: Pérdida de carga por fricción..... 114

Ecuación 8: Número de Reynolds 114

Ecuación 9: Balance entre dos puntos para el diseño de la bomba 115

Ecuación 10: Velocidad del fluido a través de la bomba 115

Ecuación 11: Pérdida de carga por fricción..... 115

Ecuación 12: Altura de la bomba 115

Ecuación 13: Potencia de la bomba 116

Ecuación 14: Velocidad específica de la bomba 116

Ecuación 15: Volumen de tanque 116

Ecuación 16: Diámetro de tanque 116

Ecuación 17: Altura de tanque..... 117

Ecuación 18: Calor transferido..... 117

Ecuación 19: Incremento de temperatura medio logarítmico 118

Ecuación 20: Área del intercambiador..... 118

Ecuación 21: Número de tubos..... 118

Ecuación 22: Velocidad por el interior de los tubos 118

Ecuación 23: Paso de tubo 119

Ecuación 24: Diámetro de la bancada..... 119

Ecuación 25: Área transversal..... 119

Ecuación 26: Densidad de flujo másico..... 119

Ecuación 27: Velocidad del fluido por la carcasa 120



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En este capítulo se explica el progreso de la limpieza a nivel industrial y los objetivos que se desean conseguir con el sistema CIP.



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**



1.1. Descripción

En el presente trabajo de fin de grado, se estudia la instalación de un sistema de limpieza mecanizado in situ, *CIP* en una industria de fabricación de quesos, basándose en bibliografía.

Se partirá de una fábrica de quesos hipotética, a la que se incorporará este sistema, encargado de limpiar las partes fijas del circuito de producción.

La función de este sistema es la de preparar soluciones de limpieza y desinfección en la concentración y temperaturas adecuadas y programar los distintos ciclos necesarios para la limpieza y desinfección de los equipos y tuberías de la planta, controlando variables como temperatura, caudal, concentración o presión.

Más adelante, veremos de qué factores depende este sistema, las ventajas e inconvenientes que presenta frente a la limpieza manual, los productos que se emplean, controladores que requiere, el diseño del mismo.

Todo ello según la normativa vigente de limpieza y desinfección en industrias lácteas, presente en el anexo III.

1.2. Antecedentes de la limpieza en la industria alimentaria

La naturaleza de las operaciones de la industria de alimentos ha cambiado muy rápido debido al incremento en los volúmenes de producción. Anteriormente, algunos procesos eran supervisados y controlados por operarios, en cambio, estos han sido sustituidos en la actualidad, por máquinas automáticas e inteligentes que garantizan una mayor calidad del producto. A pesar de esto, en la limpieza de los equipos, la automatización no se ha visto reflejada tan rápidamente y se ha ido quedando atrás, dada la falta de conciencia de esta importante labor.

En algunas empresas la limpieza es aún realizada por personal, que debe desmontar los equipos o introducirse en los tanques varias veces al día. Esta tarea es poco eficaz realizada de este modo, debido a que, entre otras cosas, hay contacto directo entre el operario y las soluciones de limpieza y desinfección, y por ello, estas, han de tener una composición menos nociva, con lo cual más débil y menos eficaz en el tiempo. Además, el producto es finalmente infectado en algunos casos por la imperfección en las tareas de limpieza.



Actualmente, debido a ciertas estadísticas que en los últimos años advierten del incremento de algunas toxiinfecciones alimentarias, las autoridades sanitarias han introducido nuevos mecanismos legales y de control, por lo que, en la mayoría de industrias alimentarias, y más concretamente en las industrias lácteas de tamaño medio, ya se cuenta con sistemas mecanizados de higiene que dejan atrás la limpieza manual de equipos.

Por todas estas razones se sustituyen en lo posible los métodos de limpieza a mano por otros, total o parcialmente automatizados.

El grado de automatización implica el nivel que se sustituyen los trabajos físicos y psíquicos del hombre en el ámbito de un proceso mecanizado de limpieza, que se gobierna y regula por sí mismo. Cuanto más elevado es el grado de mecanización, más alto es también por lo general, el de automatización.

En los métodos manuales y semimecanizados hay que disponer previamente de los utensilios de limpieza y preparar las soluciones, sin embargo, en las instalaciones de funcionamiento continuo de alto rendimiento, se activa un programador que controla automáticamente el sistema de limpieza y desinfección. Un elevado nivel de automatización incluye la graduación y control de la concentración del producto limpiador.

Para conectar instalaciones de producción con puntos abastecedores de agua y soluciones limpiadoras, se han sustituido en buena medida los medios accionados a mano, con mangueras o llaves, por válvulas de funcionamiento automático. En ocasiones es necesario desmontar y limpiar por separado aquellas partes que escapan en cierta medida a la limpieza mecánica, como grifos, válvulas, juntas y filtros.

En la mayoría de las industrias lácteas la limpieza manual ha sido reemplazada por la mecánica y en muchos casos por sistemas automáticos (CIP).

1.3. Objetivos

Los principales objetivos de este trabajo de fin de grado dedicado a la automatización de un sistema de limpieza en la industria quesera son los siguientes:

- Realizar un diseño genérico, de un sistema de limpieza automático CIP para implementarlo en una industria de fabricación de quesos.
- Aumentar la eficacia de la limpieza en la industria de la que hablaremos, así como hacer que esta parte, tan importante de las industrias, reduzca los tiempos y ejerza, así, la menor influencia posible en la producción.



- Ofrecer toda la información necesaria acerca del dimensionado del sistema, elección de soluciones limpiadoras y desinfectantes, secuencia de las operaciones y dispositivos a emplear, instrumentación necesaria para un control automatizado del sistema, seguridad y gestión de los residuos.
- Maximizar la seguridad para evitar contaminaciones cruzadas en cambios de productos.
- Breve estudio de la viabilidad técnica y económica. Minimizar el uso de agua, optimizando la recuperación de este y las disoluciones de limpieza.



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**



CAPÍTULO 2. PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA LIMPIEZA

En este capítulo se describen las clases de suciedad en utensilios y equipos, y cómo eliminarla mediante la limpieza y desinfección en la industria alimentaria.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



2.1. Suciedad

Los residuos que persisten en la maquinaria, utensilios y depósitos en la preparación de alimentos, reciben el nombre de suciedad, si bien se trata sobre todo de restos de alimentos o de sus componentes. Por consiguiente, el concepto resulta un tanto difuso, puesto que el tránsito desde “alimento” a “suciedad” carece en este caso de límites concretos.

2.2. Composición de los residuos

La composición de los residuos o suciedad depende ante todo del alimento que se esté preparando, aunque, por otro lado, varía de acuerdo con los métodos de tratamiento o elaboración a que se someta la materia prima.

Los cambios debidos a temperatura se pueden apreciar claramente en la comparación de los datos analíticos de los residuos de leche fría y las costras formadas en los calentadores de leche, como se observa en la tabla 1.

Componentes	Residuos				
	Leche fría	Leche caliente		Costras de leche	
	%	Calent. Placas %	Calent. Tubos %	Min %	Max %
Lactosa	38.11	vestigios	vestigios	0	Vestigios
Grasa	29.9	48.0	23.1	3.6	17.66
Proteína	26.6	41.1	30.3	4.1	43.8
Cenizas	5.3	11.9	46.6	42.3	67.3

Tabla 1: Composición química de algunos residuos de la leche, (Guthrie, 1980)

2.3. Proceso de envejecimiento

En el tiempo que transcurre entre el final del trabajo y el comienzo de la limpieza, el estado y composición de la suciedad pueden cambiar con mayor o menor intensidad. Este proceso, conocido con el nombre de “envejecimiento”, dificulta por lo regular la posterior limpieza. Aparte de procesos de acidificación, como en los restos de leche, los residuos del producto, se desecan en buena medida. El grado de desecación según (Cremmling, 1981) es decisivo sobre todo en los residuos de proteína para la eficacia de las medidas de limpieza, pues sólo los restos no desecados pueden eliminarse fácilmente con agua. Cuanto más secos están, más costosas resultan las medidas de limpieza necesarias en concepto de agua, energía y sustancia limpiadora.



Por ello, una limpieza adecuada debe responder a especificaciones económicas y ecológicas. En caso de resultar imposible limpiar inmediatamente después de concluir el funcionamiento de las máquinas, se debe al menos enjuagar éstas con agua para eliminar las partículas de suciedad adheridas sin fuerza. Con tiempos de desecación de seis horas a 20°C y al 50% de humedad relativa ambiental, ya se forman sólidas costras de proteína en las superficies. Esta capa se elimina mediante un enérgico cepillado con solución limpiadora.

Como en la actualidad la limpieza sólo se hace a mano en casos excepcionales o de necesidad, los factores tiempo, temperatura y productos químicos que favorecen la limpieza deben aplicarse reforzados.

2.4. Eliminación de la suciedad mediante limpieza

El objetivo de la limpieza es eliminar de la manera más completa y permanente la suciedad de las superficies a limpiar. Para ello, en el curso del proceso limpiador deben superarse considerables fuerzas de adherencia entre la superficie que se desea limpiar y la suciedad que está depositada sobre ella.

2.4.1. Grados de limpieza

- Limpieza física: remoción de todas las partículas visibles de la superficie.
- Limpieza Química: remoción no sólo de las partículas visibles, sino también de los residuos microscópicos que podrían ser detectados por el sabor o el olor, pero no de manera visual.
- Limpieza Bacteriológica: destrucción del material bacteriológico, o desinfección.
- Esterilización: destrucción de todos los microorganismos.

2.4.2. Imbibición

Este término se refiere al desplazamiento de un fluido viscoso por otro fluido inmiscible por este. El proceso de imbibición comienza en el preenjuagado con agua sin adición de preparados químicos. Como consecuencia, cabe esperar que la subsiguiente limpieza principal con una solución limpiadora química se produzca con tanta mayor rapidez o intensidad cuanto más a fondo se enjuague previamente (Fryer, 1989)

De acuerdo con el pH de la solución limpiadora, los hidroxiliones y protones adsorbidos cargan eléctricamente con el mismo signo a la suciedad y superficie



subyacente. Esto no sólo reduce la fuerza de adherencia de la suciedad, sino que reblandece su textura al actuar también sobre las capas interiores de la misma. La consecuencia de ello es que el líquido limpiador elimina con más facilidad las capas superficiales, más intensamente inhibidas.

2.4.3. Aumento de la solubilidad

Los depósitos minerales, como las costras de leche, son insolubles en agua. Por ello es necesario convertirlos en sales solubles mediante un tratamiento químico con ácidos, si se desea eliminar estos revestimientos de las superficies afectadas. El ácido nítrico favorece en ocasiones por la reacción del biuret la solubilidad en álcali de los residuos de proteína, tratando los calentadores de leche primero con ácido nítrico en una concentración del 2% y limpiándolos a continuación en medio alcalino.

2.4.4. Emulsión y humedecimiento

La eliminación de restos de grasa mediante enjuagado con agua, sólo se consigue en la práctica fluidificando previamente aquellos con ayuda de calor. Sin embargo, por este procedimiento no se obtienen superficies exentas de grasa: por una parte, la grasa es insoluble en agua, por lo que, separándose del líquido limpiador, vuelve a depositarse en la superficie que se desea limpiar (P.Weinberger y G.Wildbrett, 1978). Por otra parte, la capa de suciedad se adhiere con gran fuerza por lo regular a la superficie de los objetos y máquinas a limpiar. De aquí la necesidad de reforzar el proceso de desengrasado con ayuda de ténsidos. La película de grasa fluidificada por el calor se retrae a partir de los lados para formar una gota, que por último es eliminada por medio hidrodinámico.

2.4.5. Eliminación de la suciedad de las superficies

Según (Welchner, 1993), el proceso de limpieza mediante enjuagado discurre en dos etapas: Primero penetra la columna del medio, que realiza el enjuagado en el núcleo del producto en el tubo completamente lleno. Persiste una variable cantidad de producto, de acuerdo con la viscosidad del mismo y el calibre del tubo. A continuación, se produce la siguiente fase; enjuagado de las paredes del tubo; en la que disminuye exponencialmente la cantidad adherida a medida que aumenta la duración del enjuagado para una misma velocidad, es decir, independientemente del calibre del tubo.



En el curso del enjuagado pueden actuar cuatro mecanismos de transporte de la suciedad, que en ocasiones se solapan entre sí:

- Desprendimiento súbito del producto de la pared del tubo.
- Corrientes axiales dentro de la capa de producto a lo largo de la pared del tubo.
- Desprendimiento en grumos, dependiente de la temperatura, de porciones del producto.
- Transporte molecular de sustancia, también dependiente de la temperatura, desde la superficie de separación hasta el medio limpiador. En el caso de los productos muy viscosos, de bajo peso molecular, o de escasas cantidades residuales adheridas, este mecanismo se superpone al de la separación en grumos.

La contribución decisiva para la eliminación de la suciedad de las superficies, corre a cargo de la energía cinética de la corriente de líquido.

2.4.6. Procesos en la solución

No basta con separar la suciedad brevemente del objeto a limpiar, sino que debe evitarse hasta el final del proceso limpiador, que dicha suciedad vuelva de nuevo a depositarse sobre las superficies limpiadas. Por ello, la solución debe tener una superficie formada por la suma de todos los efectos mecánicos, químicos y físico-químicos que mantienen en solución la suciedad eliminada.

2.5. Desinfección

2.5.1. Desinfección térmica

El mecanismo de destrucción térmica de sus gérmenes puede describirse en términos generales como una desnaturalización irreversible de sus enzimas y proteínas estructurales. Por esta razón, la localización biológico-molecular de dichos procesos resulta poco importante en la práctica. De la comparación de los datos de destrucción y de los datos de inactivación de enzimas se deduce, sin embargo, que la sensibilidad al calor aumenta a medida que lo hace la complejidad de las estructuras y el contenido de agua. Estas observaciones y comparaciones, junto con las influencias del pH, aluden a un paralelismo entre la muerte de los gérmenes y la coagulación de las proteínas.

La desinfección térmica se ve influenciada por:



- El contenido y actividad del agua
- El pH
- Muerte térmica

2.5.2. Desinfección química

Para la deseada reacción entre el desinfectante y los gérmenes a combatir, constituye un importante requisito el necesario contacto entre ambos, con el que pueda tener lugar el proceso de la destrucción. Primero hay que asegurarse de que la solución desinfectante con los microbios, tienen contacto directo, a diferencia de la desinfección térmica, en la que puede alcanzarse la acción desinfectante por transmisión de calor, sin contacto inmediato con el medio que aporta el calor.

De acuerdo con las posibilidades de reacción de un desinfectante con las sustancias propias de los gérmenes asequibles, se pueden calcular las necesidades de dicho producto activo para asegurar el éxito de una desinfección.

2.6. Limpieza en la industria láctea

En la industria láctea, la suciedad está compuesta principalmente por proteínas y lípidos. Además, en los equipos pueden depositarse sustancias minerales que, en ocasiones, forman una escama dura que se conoce con el nombre de "piedra de la leche". Puesto que el tipo de detergentes que son efectivos para cada tipo de suciedad son diferentes, lo que se hace habitualmente es aplicar diariamente un detergente apropiado para restos de proteínas y lípidos y periódicamente un detergente apropiado para restos de minerales (por ejemplo, una vez al mes).

2.7. Control de residuos de productos limpiadores y desinfectantes en los alimentos.

Los restos de productos empleados en la limpieza y desinfección se consideran en los alimentos sustancias extrañas no permitidas por la ley. En el mejor de los casos, deben estimarse como indigestibles desde el punto de vista de la biología de la nutrición, pero también, dependiendo de la dosis, pueden resultar nocivos e incluso peligrosos.



Para poder controlar los alimentos en lo referente a la cantidad de residuos de este tipo de contaminantes, hacen falta métodos analíticos especiales. A tal fin, se utilizan procedimientos biológicos y técnicas de análisis químicos.

El técnico encargado de analizar los residuos presentes en alimentos, dispone de diversos métodos que le permite determinar sustancias contaminantes en niveles de ppb.

Para poder investigar si un alimento contiene residuos de algún medio limpiador o desinfectante, deben prepararse todas las muestras ciegas del establecimiento, para lo cual es necesario analizar los productos limpiadores y desinfectantes utilizados, con objeto de poder garantizar valores ciegos representativos del alimento. Agrava la cuestión que en todas las etapas de la obtención, tratamiento y envasado deban limpiarse y desinfectarse las instalaciones y utensilios, existiendo por consiguiente en cada zona la posibilidad de una contaminación.

El límite de identificación corresponde al valor de medida más bajo que pueda determinarse con suficiente seguridad estadística sobre la presencia de una sustancia sospechosa no autorizada.

El límite de identificación puede calcularse determinando el valor ciego B de un número suficiente de muestras ciegas representativas y a partir de él se calcula el límite de identificación para $B + 3 sb$, (donde sb es la desviación estándar del valor ciego). Según esto, de acuerdo con la distribución normal de Gauss, la probabilidad de confundir un residuo real con el valor ciego es de sólo un 0,135%.

Si el resultado del análisis indica que la muestra contiene residuos de la sustancia investigada, esto no significa también que la cantidad en cuestión pueda cuantificarse con exactitud suficiente, pues para ello hace falta una concentración mínima dependiente de la sustancia. El límite inferior de la capacidad de determinación se expresa por ello como $B + 6sb$ (J.L. Marr et al, 1988) Si existe un valor límite permitido para la sustancia investigada, el límite de determinación del método analítico incrementado en el triple del valor de la desviación estándar debe estar por debajo de la concentración autorizada.

Los límites de identificación y determinación, en unión de otros criterios como, por ejemplo, la precisión y sensibilidad, caracterizan la eficacia de un método analítico.

Los componentes inorgánicos de productos limpiadores del sector alimentario, como sodio, potasio, carbonato, fosfato (o ácido fosfórico), silicatos, sulfatos (o ácido sulfúrico), cloruros...son también componentes naturales de los



alimentos cuya proporción en un mismo nutriente fluctúa muchas veces ostensiblemente. Por ello, a la vista de tales valores, apenas pueden evidenciarse analíticamente con seguridad suficientes pequeños residuos de productos limpiadores en los alimentos.

En general, podrían mejorarse las posibilidades de identificación de residuos de productos limpiadores si éstos se mezclaran obligatoriamente con una sustancia ajena a los alimentos que pudiera identificarse. Cuando se utilizan combinados productos limpiadores y desinfectantes, puede tener éxito el control de los alimentos en lo referente a residuos de las sustancias germicidas.

En la tabla 2 adjunta, aparece un resumen de los principios utilizados metódicamente para controlar la presencia en alimentos de diversos residuos de principios activos microbicidas.

Sustancia	Alimento	Metódica	Límite óptimo (mg/Kg)
DDBAC	Leche	Fotometría del complejo eosina-CAC	0.5
CTAB	Leche	Fotometría del complejo azul bromo-fenol-CAC	0.5
Yodo total	Leche	GC como 2-yodo-3-pentano	0.05
Yoduro	Leche	Por UV	0.5 ngJ
Peróxido de hidrógeno	Leche	Potenciometría del oxígeno liberado agregando catalasa	0.01

Tabla 2: Métodos analíticos de residuos de productos desinfectantes en alimentos.

Donde DDBAC es el Cloruro de diisobutilfenoxietil-dimetil-bencilamonio y CTAB es el Bromuro de cetil-trimetil-amonio.

La contaminación de la leche por desinfectantes yodados se controla generalmente determinando la tasa total de yodo. Sin embargo, antes es necesario medir con exactitud el contenido natural de yodo de una muestra comparativa representativa. La tasa de yodo puede determinarse con un electrodo selector de iones sin tratamiento previo de la muestra, ya que >90% de la cantidad total de yodo está en forma de yoduro no ligado a la proteína láctea (Hamann y Heeschen, 1982). No obstante, cuando la leche se calienta

por encima de los valores habituales de pasteurización, los grupos -SH ejercen efecto perturbador (D.E. Lacroix and N.P. Wong, 1980) Cuando los contenidos de yodo sean extremadamente bajos, se preferirán métodos especiales como la espectrometría de absorción atómica como se puede observar en la tabla 3.

Método de análisis	Límite de identificación (ng/kg)	Repetitividad (%)	Precisión (%)
Fotometría	10	94-103	-
Espectrometría de absorción atómica	0.2	-	-
Rayos X-fluorescencia	100	-	+/- 10
Volumetría	(zona mg/kg)	93	0.6-3.3
Potenciometría	40	101 +/- 7	3.4

Tabla 3: Métodos determinantes de yoduros en la leche (IDF, 1982)

Donde la precisión es el grado de coincidencia de los resultados de la realización repetida del método analítico en condiciones concretas.

En ocasiones, se proponen la identificación indirecta de sustancias tensoactivas en alimentos líquidos en virtud de su actividad intersuperficial: Mientras que la agregación de agua (hasta un 20%) no modifica la tensión superficial de la leche, las soluciones limpiadoras con compuestos de amonio cuaternario reducen su tensión superficial (tabla 4.). Sin embargo, este efecto presupone tasas de contaminación relativamente; concentraciones de 0.2 g en la leche sólo son de esperar cuando se producen averías o se cometen errores en el establecimiento. (Glas, 1993)

Adición del limpiador (g/l)	Tensión superficial de la leche (10^{-3} N/m)
0 (sin diluir)	43.5-46.5
Adición 20% de agua	43.5-46.5
0.2	<43.0
0.5	41.5-42
1.0	< 41

Tabla 4: Variaciones de la tensión superficial de la leche entera por adición de un producto limpiador con compuesto de amonio cuaternario (A. Leandro-Montes, 1970)



CAPÍTULO 3. GESTIÓN DE LIMPIEZA, DESINFECCIÓN Y SEGURIDAD EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA SEGÚN EL DEPARTAMENTO GENERAL DE SALUD PÚBLICA

En este capítulo se describen los requisitos de higiene, que los inspectores de sanidad exigen a las industrias alimentarias y, más concretamente a las industrias lácteas.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



3.1. Plan de limpieza y desinfección

Se deberá desarrollar un plan de limpieza y desinfección con el objetivo de que se realice una recogida y retirada de los restos de alimentos y desperdicios, de tal forma que se garantice una eliminación eficaz de la suciedad reduciendo a un mínimo aceptable los microorganismos que puedan contaminar los alimentos.

El plan incluirá los siguientes programas:

3.1.1. Programa de limpieza y desinfección (L+D)

Procedimiento con las actividades que se llevan a cabo para la limpieza y la desinfección, indicando, al menos, los siguientes aspectos:

- Qué se limpia/desinfecta, identificando aquellos elementos de la industria susceptibles de limpieza y desinfección como locales, superficies, equipos, útiles, contenedores de residuos y vehículos de transporte; también deberá incluirse la ropa de trabajo y el propio equipo de limpieza.
- De qué medios se dispone para la realización de la limpieza/desinfección.
- Cómo se limpia/desinfecta, realizando una descripción del procedimiento a seguir (productos utilizados, dosis, tiempo y temperatura de actuación, métodos, material, etc.).
- Quién/es son la/s persona/s encargada de la limpieza/desinfección.
- Cuándo, indicando el momento en el que debe realizarse la limpieza/desinfección (al final de la jornada, al final del uso, etc.).
- Medidas correctivas en caso de que no se mantengan unas adecuadas condiciones de limpieza/desinfección.

3.1.2. Programa de comprobación de la eficacia del programa de limpieza y desinfección

Se desarrollará un programa que tenga por objeto definir las acciones específicas necesarias para evaluar la eficacia de la limpieza y desinfección y en caso de detectar desviaciones, aplicar las medidas correctivas. La



comprobación se realizará:

- 1) De forma subjetiva, mediante la observación visual del estado de limpieza de instalaciones, equipos y útiles a través de un listado de revisión, que incluya todos los elementos a supervisar. Su frecuencia deberá estar especificada por la empresa. Esta comprobación la realizará un responsable, designado y entrenado para tal fin, que a ser posible, no formará parte del equipo que ejecuta las tareas de limpieza y desinfección.
- 2) De forma objetiva, mediante la toma de muestras (de superficies y ambientales) y su análisis. Se describirán los procedimientos de toma de muestras, la frecuencia de los análisis a realizar, los límites microbiológicos legislados o establecidos por la industria y el laboratorio que lo realiza, en su caso.

Los documentos y registros precisos para la aplicación de este plan son los siguientes:

- Fichas técnicas de los productos utilizados o, en su defecto, copia de las etiquetas en las que figure la composición y el modo de empleo, que deberán permanecer adecuadamente archivadas. En el caso de desinfectantes biocidas en la etiqueta debe figurar el número de inscripción en el Registro Oficial de Biocidas.
- En caso de utilización de productos que no sean de uso doméstico, copia de los documentos acreditativos de capacitación de los aplicadores, tanto en caso de pertenecer a la plantilla de la empresa como a una empresa externa.
- Registro de control de las tareas realizadas, que incluirá, al menos, locales, equipos y utillaje, productos utilizados, fecha y nombre de la persona que realiza la L+D, así como su firma.
- Listado de revisión empleado en la comprobación subjetiva, que incluirá, al menos, fecha, locales, equipos y utillaje; nombre del responsable y su firma.
- Registro de Informes de ensayo, con indicación de lugar, fecha y hora de la toma de muestras, identificación del punto de toma de muestras



y fecha de los análisis. Los informes de ensayo se archivarán adecuadamente.

- Registro de incidencias y medidas correctivas.

3.2. Requisitos del equipo

3.2.1. Útiles y equipos en contacto con los productos alimenticios

Deberán limpiarse perfectamente y, en caso necesario, desinfectarse. La limpieza y desinfección se realizarán con la frecuencia necesaria para evitar cualquier riesgo de contaminación.

Su construcción, composición y estado de conservación y mantenimiento deberán reducir al mínimo el riesgo de contaminación.

Los recipientes y envases, a excepción de los no recuperables, tendrán una construcción, composición y estado de conservación y mantenimiento que permitan que se limpien perfectamente y, en caso necesario, se desinfecten.

3.2.2. Dispositivos de control de los equipos

Si fuese necesario, los equipos deberán estar provistos de todos los dispositivos de control adecuados para garantizar el cumplimiento de los objetivos de la normativa.

3.2.3. Ubicación e instalación de los equipos

Su instalación permitirá la limpieza adecuada del equipo y de la zona circundante.

En el anexo II se adjuntan los cuestionarios de auditoría de; plan APPCC en industrias, de auditoría del programa de prerrequisitos y otros planes en industrias alimentarias y de inspección de industrias lácteas.

Se adjunta, también, en el anexo III, la legislación vigente sobre los requisitos de limpieza en industrias lácteas.



3.3. Seguridad en la industria alimentaria

La seguridad alimentaria, pilar fundamental para la consecución de un elevado nivel de protección de la salud de las personas, es el resultado de la integración de diversos elementos: el establecimiento de normas en materia de higiene mediante los textos legislativos, el cumplimiento de una serie de requisitos y la implantación en las empresas alimentarias de procedimientos de autocontrol que les permita el control de los peligros y la realización de controles oficiales para comprobar el cumplimiento de las normas por parte de los operadores.

El operador de empresa alimentaria, para dar cumplimiento a lo establecido en la legislación alimentaria, debe implantar un sistema de gestión de la seguridad de los alimentos (SGSA).

Un SGSA es un sistema integral de prevención y actividades de autocontrol para gestionar la seguridad e higiene de los alimentos en una empresa alimentaria, incluidas las referidas a la gestión de la trazabilidad, la recuperación de productos y las herramientas de comunicación. Un SGSA debe concebirse como un instrumento práctico para controlar el entorno y el proceso de producción de alimentos y garantizar la seguridad de estos productos.

El SGSA incluye:

- a) Los Programas de prerrequisitos o requisitos previos (PPR).
- b) El Plan APPCC.

Los PPR están basados en los principios generales de higiene de los alimentos del Codex Alimentarius. Se incluyen todas las buenas prácticas, entre otras las buenas prácticas de higiene (BPH) y las buenas prácticas de fabricación (BPF), así como los procedimientos para garantizar la trazabilidad de los productos, la recuperación de los mismos y la comunicación de la información pertinente, en caso de ser necesario. Deberán permitir al operador el control de aquellos peligros generales para la seguridad de sus productos.

El Plan APPCC se corresponde con el desarrollo íntegro de los procedimientos basados en el Análisis de Peligros y Puntos de Control Crítico (APPCC). Permitirá al operador el control de aquellos peligros específicos y se basa en los siete principios siguientes:

- 1) Detectar cualquier peligro que deba evitarse, eliminarse o reducirse a niveles aceptables.



- 2) Detectar los puntos de control crítico en la fase o fases en las que el control sea esencial para evitar o eliminar un peligro o reducirlo a niveles aceptables.
- 3) Establecer, en los puntos de control crítico, límites críticos que diferencien la aceptabilidad de la inaceptabilidad para la prevención, eliminación o reducción de los peligros detectados.
- 4) Establecer y aplicar procedimientos de vigilancia efectivos en los puntos de control crítico.
- 5) Establecer medidas correctivas cuando la vigilancia indique que un punto de control crítico no está controlado.
- 6) Establecer procedimientos, que se aplicarán regularmente, para verificar que las medidas contempladas anteriormente son eficaces.
- 7) Elaborar documentos y registros en función de la naturaleza y el tamaño de la empresa alimentaria para demostrar la aplicación efectiva de las medidas contempladas en los anteriores principios.

Los siete principios del APPCC constituyen un modelo práctico para identificar y controlar permanentemente los peligros importantes para la seguridad de los productos.

Previa a la implantación del plan APPCC por cualquier empresa, todo operador debe haber aplicado los PPR, ya que estos se consideran imprescindibles para un adecuado estudio e instauración del mismo.

Atendiendo a los criterios de flexibilidad, en determinadas empresas y establecimientos, no hay necesidad de implantar un plan APPCC completo, si por medio de los PPR se alcanza el objetivo de controlar los peligros que pudieran estar presentes en los alimentos.

Las guías de prácticas correctas de higiene son un medio sencillo y eficaz que permitiría a algunas empresas alimentarias controlar los peligros y demostrar el cumplimiento de las normas sin tener que desarrollar un plan APPCC detallado. Las guías de prácticas correctas de higiene deben describir de una manera práctica y simple los métodos de control de los peligros sin entrar necesariamente en detalles sobre la naturaleza de éstos, y sin proceder a una identificación formal de los puntos de control crítico.

El adecuado desarrollo e implantación del SGSA, requiere el compromiso constante de la dirección de las empresas y la cooperación plena de los empleados.

3.3.1. Sistema de gestión de la seguridad de los alimentos



El sistema de gestión de la seguridad de los alimentos (SGSA) que debe disponer una empresa es el conjunto de documentos, comúnmente conocidos como “manual de autocontrol”, preparados de conformidad con los principios generales de la higiene alimentaria y de los principios del sistema APPCC, que recogen las medidas preventivas y actividades de autocontrol programadas e implantadas por el operador de empresa alimentaria para garantizar la puesta en el mercado de alimentos seguros.

El SGSA deberá incluir:

- Los documentos de introducción que recojan:
 - La identificación de la empresa (nombre/razón social, DNI/CIF, domicilio y nº de autorización sanitaria de funcionamiento) y la/s actividad/es que desarrolla.
 - La identificación de la/s persona/s responsables de la aplicación del SGSA.
 - El ámbito de aplicación del SGSA (fases del proceso, líneas de producción, productos, etc.).
 - Compromiso de crear e implantar un SGSA permanente.
- Los Programas de prerrequisitos (PPR).
- El plan APPCC, ilustración 1.

Las actuaciones realizadas como consecuencia de la creación, aplicación y revisión del SGSA deberán estar debidamente documentadas. Todos los documentos que se generen incluirán: fecha del documento, número de revisión y firma del responsable.

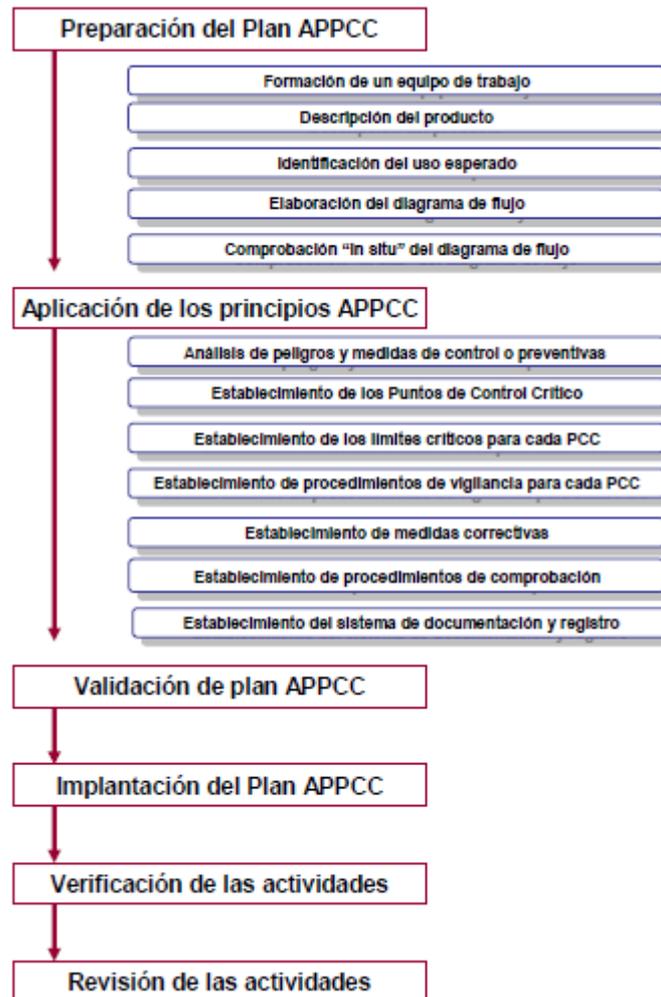


Ilustración 1: Secuencia de implantación de un plan APPCC

3.4. Gestión ambiental de residuos en la industria alimentaria

Se deberá desarrollar un plan de gestión de residuos con el objetivo de realizar una eliminación adecuada de los residuos generados en la actividad de la empresa con la finalidad de evitar la contaminación de los alimentos y del medio ambiente.

El Plan constará de un Programa de gestión de residuos que contenga los siguientes aspectos:

- Descripción y clasificación selectiva de los residuos de acuerdo a la normativa legal existente.
- Descripción de los itinerarios o circuitos de forma que se eviten los



cruces y con ellos la contaminación cruzada.

- Descripción de la forma de almacenamiento de los distintos residuos hasta su evacuación, y la frecuencia de la misma.
- Descripción del destino de cada tipo de residuo y los medios propios o ajenos utilizados para el transporte.
- Descripción de las medidas correctivas.

Los documentos y registros precisos para la aplicación de este plan son los siguientes:

- Relación de gestores de residuos donde figuren sus autorizaciones, en su caso.
- Registro de salida de los residuos que incluya fecha, tipo de residuos, cantidad, destino y firma del responsable, a excepción de los residuos no SANDACH eliminados como sólidos urbanos y gestionados como tales por las entidades locales.
- Los documentos comerciales de transporte de los subproductos animales no destinados al consumo humano según se indica en la Orden AYG/397/2006, de 9 de marzo, por la que se regula el registro General de Transportistas y Medios de Transporte de subproductos animales no destinados al consumo humano que operen en Castilla y León y se regula el Libro de Transporte, serán archivados adecuadamente.
- Registro de incidencias y medidas correctivas.

3.5. Gestión de residuos en industrias lácteas

3.5.1. Contenedores de desperdicios de productos alimenticios, de subproductos no comestibles y otros residuos

- Los desperdicios de productos alimenticios y de subproductos no comestibles, es decir los residuos orgánicos (leche, lacto suero, recortes de queso, etc.), se deberán almacenar en contenedores de construcción



- y mantenimiento adecuados, permitiendo una fácil limpieza y en caso necesario una fácil desinfección, y deberán disponer de cierre.
- Los contenedores en los que se almacenen subproductos de origen animal no destinados al consumo humano (SANDACH), deberán estar identificados de acuerdo con la categorización establecida en la legislación vigente.
 - En los establecimientos que no se generen más de 20 Kg semanales de determinados subproductos de Categoría 3, independientemente de la especie de origen, la eliminación de estos materiales podrá ser realizada conforme a la legislación vigente de residuos urbanos.
 - El resto de residuos, inorgánicos (vidrio, cartón, plástico, etc.), se almacenarán en contenedores o recintos específicos hasta su retirada.

3.5.2. Diseño, disposición y mantenimiento de locales o depósitos

Se considerarán adecuados cuando puedan permitir mantenerse limpios y libres de animales y organismos nocivos.

3.5.3. Gestión de residuos

- Todos los residuos deberán clasificarse y eliminarse higiénicamente según su categoría y de acuerdo a la normativa vigente, no serán una fuente de contaminación directa o indirecta ni perjudicarán al medio ambiente.
- Conforme se describe en la legislación, la leche y los productos lácteos que por incumplimiento de los parámetros de calidad establecidos en la normativa comunitaria sean considerados como SANDACH deben categorizarse y almacenarse adecuadamente hasta su envío a destino autorizado.

Nota: Las salmueras de curación del queso forman parte de las aguas residuales generadas durante las actividades del proceso. Las condiciones ambientales (consumo de recursos naturales, aguas residuales, residuos, etc.) para industrias de tratamiento y transformación de leche, están reguladas, en función del volumen de producción, bien por la autorización ambiental integrada, que otorga e inspecciona la Consejería de Medio Ambiente de la provincia dónde esté ubicada la industria, bien por la licencia ambiental, que otorgan e inspeccionan los Ayuntamientos.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



CAPÍTULO 4. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL QUESO

En este capítulo se describe el proceso de obtención de queso; materias primas, equipos, proceso industrial.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



4.1. Materias primas

El queso entre sus componentes, incluye obviamente y en su gran mayoría leche. Esta leche puede ser natural, desnatada total o parcialmente, de la nata del suero de mantequilla o de una mezcla de alguno de todos estos productos.

Esta leche puede proceder de vacas, ovejas, cabras y búfalas, obteniéndose así, quesos de las cuatro especies y de sus mezclas. Así, el queso puede variar en sabor y textura. Los quesos más suaves, serán los elaborados con leche de vaca y los más fuertes o madurados los de oveja.

Cuando se emplea leche cruda, es decir, sin tratar, el queso conserva más su sabor y toda su grasa. La leche pasteurizada, es aquella que se somete a una elevada temperatura, lo que hace que se destruyan bacterias y gérmenes dañinos, sin alterar su composición y cualidades.

Existen factores físico-químicos y, también microbiológicos, que afectan en la coagulación de la leche y que están ligados a su composición (cantidad de proteínas solubles, balance salino, pH, etc.) por otro lado, la carga microbiana afecta en la calidad sanitaria, la inocuidad del queso y la vida útil del mismo.

El papel de los diferentes componentes de la leche en el queso es:

- Agua: favorece el crecimiento microbiano y por tanto la maduración, afecta a la textura y rendimiento, influyendo en la vida del queso.
- Grasa: Afecta a la textura, sabor, rendimiento y color de los quesos.
- Lactosa: Afecta al desuerado, textura, sabor y maduración.
- Caseína: Afecta al rendimiento, sabor y olor.
- Proteínas del Suero: contribuyen con el valor nutritivo y la maduración. Pueden afectar a la coagulación.
- Minerales: participan en la coagulación, influyen en el desuerado y textura de la cuajada.
- Enzimas coagulantes: en los quesos elaborados mediante coagulación enzimática o mixta, las enzimas coagulantes constituyen un elemento esencial. Tradicionalmente se utiliza la quimosina o renina, extraída del



estómago de los corderos lactantes. Pero debido al aumento en la demanda de cuajos se han desarrollado técnicas para la utilización de enzimas provenientes de microorganismos y vegetales.

- Cuajos microbianos: elaborados principalmente a partir de cultivos de mohos de la especie *Rhizomucor*. Actualmente se elabora quimosina producida por fermentación con microorganismos modificados genéticamente, con lo cual se obtiene un enzima bastante similar a la quimosina de origen animal.
- Cuajos vegetales: pueden ser obtenidos de la piña (bromelina), lechosa (papaina) e higo (ficina). Estos enzimas tienen una capacidad proteolítica menos específica por lo cual pueden causar sabores amargos en los quesos si no son bien utilizados. Su uso a nivel comercial es limitado, generalmente se utilizan en la elaboración artesanal de determinados tipos de quesos.
- Cloruro de calcio: su uso permite obtener una cuajada más firme a la vez que permite acortar el tiempo de coagulación.
- Nitratos: los nitratos de sodio o potasio, tienen como función impedir la hinchazón precoz por bacterias.
- Ácidos orgánicos: en la elaboración de quesos por coagulación ácida se puede omitir el uso de cultivos por medio del empleo de ácidos orgánicos (acético, cítrico, láctico).
- Sal (cloruro de sodio): la sal se adiciona con el objetivo principal de darle sabor al queso, además sirve para alargar su vida útil al frenar el crecimiento microbiano al disminuir la actividad de agua.

4.2. Tipos de quesos

Los quesos se pueden clasificar en función de diferentes aspectos como:

- El contenido en materia grasa.
 - Grasos: Si tienen mínimo un 45% de materia grasa, nunca más del 60%
 - Semigrasos: Si tienen mínimo 25% de materia grasa, nunca más de 45%.



- Desnatados: Si no tienen nada de materia grasa o como mucho un 10%.
 - Semidesnatados: Si tienen menos del 25% y mínimo 10%
 - Extragrasos: Si tienen un 60% o más.
- El proceso de elaboración.
- Frescos: son los que sólo han seguido una fermentación láctica y llegan al consumidor inmediatamente después de ser fabricados. Aquellos que se elaboran con vocación de ser consumidos sin pasar por condiciones de maduración. Tienen un elevado contenido en humedad y una vida comercial más corta.
 - Madurados: son los que pasan por la fermentación láctica, más otras transformaciones, a fin de conseguir un mayor afinado, los que se someten a las condiciones adecuadas de maduración para que desarrollen características propias. Según el tiempo de maduración pueden indicarse algunos tipos a modo orientativo, ya que no existe un criterio único en este sentido
 - Queso tierno: Maduración inferior a 21 días.
 - Queso oreado: Maduración de 21 a 90 días.
 - Queso semicurado: Maduración de 3 a 6 meses.
 - Queso curado: Maduración mayor de 6 meses.
 - Fundidos: son los obtenidos por la mezcla, fusión y emulsión, con tratamiento térmico de una o más variedades de queso, con inclusión de sales fundentes para favorecer la emulsión, pudiéndose añadir además leche, productos lácteos u otros productos como hierbas aromáticas, salmón, anchoas, nueces, ajo, etc.
 - Quesos de suero: obtenidos precipitando por medio de calor, y en medio de ácido, las proteínas que contiene el suero del queso para formar una masa blanca, un ejemplo es el requesón.
 - Quesos de pasta hilada: la cuajada, una vez rota, se deja madurar en el mismo suero durante un tiempo para que adquiera la aptitud de hilatura, como consecuencia de una desmineralización por pérdida de calcio de la masa sólida. En este proceso deben concursar fermentos lácticos que acidifiquen el suero.



- Quesos rayados y en polvo: proceden de la disgregación mecánica, más o menos intensa, del queso. Presentan una humedad muy baja para evitar la agregación del producto una vez envasado.
- Su corteza.
 - Sin corteza: quesos frescos
 - Corteza seca: son los que hacen ellos mismos su corteza de forma natural al secarse. Cuanto más tiempo, más secado y más o menos corteza. Luego hay que lavarlos e incluso cepillarlos.
 - Corteza enmohecida: en su proceso se les hace una corteza por moho que se deposita en su exterior y dicha corteza puede comerse si se quiere.
 - Corteza artificial: son los que se les coloca voluntariamente una corteza exterior para protegerles: como hojas, carbón vegetal, cera, extractos vegetales

Por medio de las manipulaciones de la cuajada que se obtiene, y mediante el uso de diferentes temperaturas y distintos agentes de maduración, es posible obtener una gran variedad de quesos diferentes.

4.3. Equipos implicados

Los equipos que forman parte de la elaboración del queso, pueden ser:

- Tanques de refrigeración para almacenamiento de leche.
- Pasteurizadores: Son intercambiadores de calor. En ellos se calienta la leche y se mantiene un cierto tiempo para llevar a cabo las operaciones de pasterizado o esterilizado. El agua caliente fluye a través de un canal y la leche a través del otro. Se produce una transferencia de calor del fluido caliente hacia el frío.
- Cuba de cuajado
- Tina de recogida de cuajada y pre- prensado.
- Mesa de desuerado de queso
- Saladero de salmuera
- Prensa para quesos

A continuación, en la ilustración 2, se muestra un plano de una instalación quesera a pequeña escala, donde aparecen los equipos, anteriormente descritos y el trayecto que se sigue para llegar a ellos.

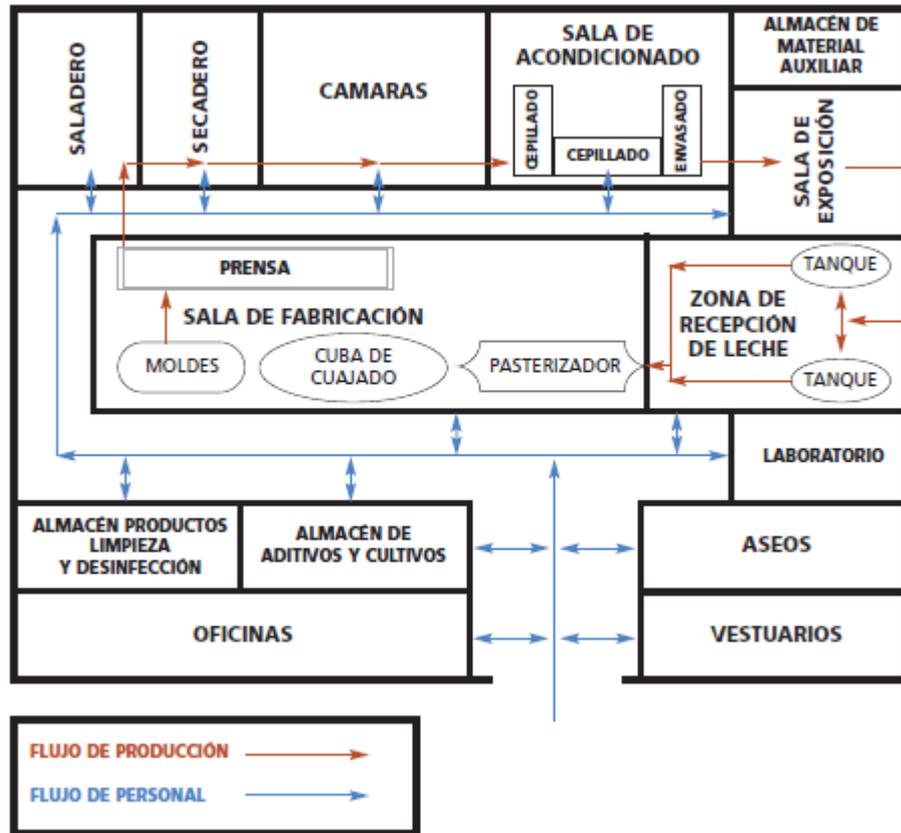


Ilustración 2: Plano de una pequeña instalación de fabricación de queso según el manual de aplicación del sistema APPCC en industrias lácteas de Castilla La Mancha

4.4. Proceso industrial

En la ilustración 3, se muestra un diagrama de bloques con el proceso industrial de la fabricación del queso.

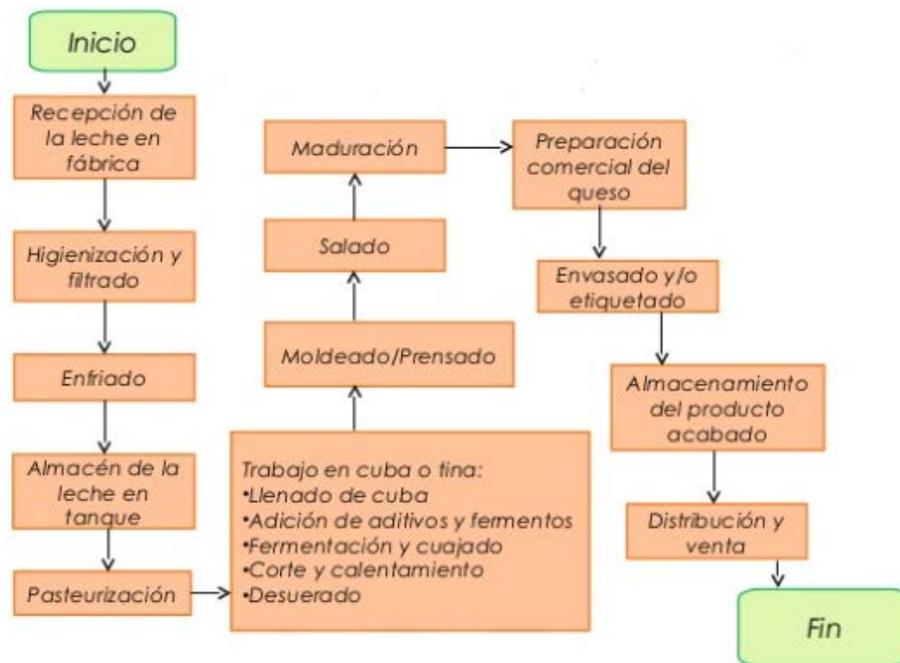


Ilustración 3: Diagrama de flujo de la fabricación de quesos

4.4.1. Recepción, preparación y conservación de la leche en fábrica

- Recepción de la leche en fábrica

De acuerdo con el Reglamento (CE) 853/2004, se debe controlar la temperatura de la leche a la llegada a fábrica, independientemente del proveedor, para comprobar que no supera los 10 ° C.

Además, los operarios de la empresa alimentaria deberán iniciar procedimientos para garantizar que no entre en fábrica leche que supere residuos de antibióticos según el Reglamento (CEE) 2377/90.

Para la leche de vaca, el Real Decreto 1728/2007 establece como obligatorio en la etapa de recepción de la leche la prueba de detección de antibióticos, debiéndose asegurar el centro de transformación que no entra leche con este tipo de sustancias. Para ello se utilizará un método específico para la detección de residuos de antibióticos del grupo de los Betalactámicos (al menos amoxicilina y ampicilina) en todas las cisternas, antes de su descarga, y otro método específico para residuos de antibióticos del grupo de las tetraciclinas (al menos de oxitetraciclina). Esta segunda prueba se realizará en una de cada cinco cisternas, de forma que todas las rutas sean analizadas, al menos, una vez al mes.

- Higienización

Para evitar peligros físicos y microbiológicos se procede al filtrado de la leche, el cual elimina restos de que puede traer consigo la leche. A escala industrial se puede realizar una centrifugación para mejorar los resultados en el filtrado de la leche.



Ilustración 4: Clarificadora para el centrifugado de la leche

La higienización engloba los siguientes procesos:

- Filtrado.
- Centrifugación en clarificadoras, ilustración 4.
- Bactofugación.
- Homogenización.

Durante el filtrado se hace pasar la leche a través de filtros de tela sintética o de algodón, eliminando de esta manera las macropartículas y cuerpos extraños. Generalmente se emplean filtros gemelos con el fin de facilitar su limpieza alternada sin interrumpir la producción.

Mediante la centrifugación se asegura la eliminación de la mayor parte de las macropartículas. Se realiza en las clarificadoras.

En la bactofugación se aplica una velocidad de centrifugación mayor, consiguiendo eliminar además el 90% de ciertos tipos de bacterias como los Bacilos y los Clostridium, que afectan en la elaboración de algunos quesos.

Elevando la temperatura de la clarificación y de la bactofugación (60-65°C) se disminuye la viscosidad de la leche y se aumenta el rendimiento de estos procesos.



La homogenización se aplica a la leche o a la crema para reducir el tamaño de los glóbulos de grasa evitando que asciendan a la superficie. Para ello, se envía la leche a través de un conducto parcialmente obstruido en su extremo a una presión de 250 a 350 kg/cm² y a una temperatura de 65-70°C,

- Enfriado

Una vez higienizada y/o filtrada la leche, hay que enfriarla rápidamente para que su temperatura no sobrepase los 6°C, manteniendo dicha temperatura hasta su transformación.

- Almacén de la leche en tanque

En condiciones normales, la leche debe almacenarse a temperaturas de refrigeración hasta el momento de la elaboración. Los tiempos de almacenamiento deben ser lo más cortos posibles ya que incluso en condiciones de refrigeración se producen alteraciones que pueden repercutir en la calidad del producto.

También es importante la adecuada limpieza y desinfección del tanque de almacenamiento para evitar peligros microbiológicos y químicos.

4.4.2. Pasteurización

La pasteurización es un tratamiento térmico que, aplicado a la leche empleada como materia prima para la fabricación de queso, tiene por objeto la destrucción de microorganismos patógenos perjudiciales para la salud de los consumidores, y de otros microorganismos alterantes, así como la inactivación de sistemas enzimáticos que interactúan negativamente en el proceso de elaboración del queso.

La pasterización puede realizarse de diversas formas:

- Una temperatura elevada durante un breve periodo de tiempo (al menos 72°C durante 15 segundos).
- Una temperatura baja durante un largo periodo de tiempo (al menos 63°C durante 30 minutos).
- Cualquier otra combinación de condiciones de tiempo y temperatura con la que se obtenga un efecto equivalente.

De forma que, cuando proceda, los productos den una reacción negativa a la prueba de la fosfatasa alcalina inmediatamente después de ser sometidos a tal tratamiento.

Los peligros químicos en esta etapa podrían evitarse con un adecuado mantenimiento y protocolo de limpieza y desinfección del pasteurizador.



Ilustración 5: Pasteurizador para leche

4.4.3. Trabajo en cuba

El trabajo en cuba engloba una serie de etapas tecnológicas que son:

- Llenado de la cuba.
- Adición de aditivos y fermentos.
- Fermentación y cuajado.
- Corte y calentamiento del grano.
- Desuerado.

Esta etapa tiene repercusión, tanto en la calidad del producto que se va a elaborar, como en la seguridad del mismo, por lo que se tienen que comprobar los siguientes parámetros: temperatura, tiempo y pH en todas las fases del trabajo en cuba.

El lactosuero, denominado así por ser el suero de la leche, contiene nutrientes valiosos, como proteínas del suero, lactosa y minerales. Debido a esto, se puede utilizar, tanto para alimentación humana como animal.

Si se va a destinar a la alimentación humana, se ha de almacenar en condiciones adecuadas de refrigeración hasta su venta a otra industria o su tratamiento posterior para elaboración de otros productos.

4.4.4. Moldeo y salado



- Moldeado / Prensado

Una vez tenemos el coágulo desuerado, se introduce en moldes, que pueden ser micro perforado o estar recubiertos con paños. A continuación, los quesos son prensados para que acaben de desuerar y adquieran la forma característica del molde en el que se ha introducido el coágulo. En la actualidad se suelen utilizar prensas neumáticas.

- Salado

Esta etapa tiene como finalidad conseguir un contenido salino en el queso tal, que le dé sabor y regule el crecimiento microbiano en su interior. Como consecuencia se detiene la producción de ácido por parte de las bacterias lácteas, no bajando más el pH de la cuajada tras la salazón.

El salado de los quesos puede realizarse por inmersión en una salmuera o por salado en seco.

El control de la composición de la salmuera, referido a su concentración de sal, temperatura y microbiología, es fundamental para evitar que ésta se convierta en fuente de contaminación de los quesos, así como para regular la cantidad total de sal que les adiciona.

Por ello deben establecerse procedimientos de mantenimiento de la salmuera, con el fin de regular su composición y su renovación.

El tiempo que los quesos permanecerán salando, depende en gran medida del tamaño del queso y de la concentración de la salmuera.

Independientemente de la forma de salado, ya sea por inmersión o en seco, es una buena práctica el control de la temperatura de la sala de salado, para evitar el crecimiento no deseado de microorganismos.

Esta es la última fase, antes de la preparación preventiva, para los quesos frescos.

4.4.5. Maduración

- Pintado y recubrimiento antifúngico

Estos tratamientos tienen el objetivo de evitar la proliferación de mohos en la superficie del queso durante la maduración, el almacenamiento y la vida útil de éste.

Estas operaciones se pueden realizar, tanto antes del proceso de maduración, como después del mismo, según el tipo de queso que se elabore.

- Maduración

Durante el proceso de maduración tienen lugar en la masa del queso distintas reacciones físico-químicas debidas a la acción microbiana y a las enzimas de los fermentos lácteos, que van a ir modificando la composición del queso, dando origen finalmente a la textura, el sabor, el color y el aroma característico de cada tipo de queso.

En el proceso de maduración es importante que se realice un control periódico de la temperatura (las altas temperaturas aceleran la maduración, mientras que las bajas, la retrasan) y humedad de las salas (ilustración 5), así como del tiempo de permanencia de cada lote de quesos en las mismas.

El Real Decreto 1113/2006 de 29 de septiembre que aprueba las normas de calidad para quesos y quesos fundidos, atendiendo a su maduración, denomina como queso fresco, a aquél que está dispuesto para su consumo al finalizar el proceso de fabricación, y como queso madurado, el que, tras el proceso de fabricación, requiere mantenerse durante cierto tiempo a una temperatura y en condiciones tales que se produzcan los cambios físicos y químicos característicos del mismo.



Ilustración 6: Sala de maduración del queso

4.4.6. Preparación preventiva

- Preparación comercial del queso



Una vez transcurrido el periodo de maduración correspondiente a cada tipo de queso, en algunos casos se procede a su cepillado para eliminar los restos de mohos superficiales que pudieran haberse formado. A continuación, los quesos pueden someterse a alguno de los siguientes tratamientos:

- Baño en un aceite apto para uso alimentario.
- Envasado y/o etiquetado

En esta etapa pueden aparecer peligros químicos y microbiológicos si no están implantados procedimientos adecuados de limpieza y desinfección para la máquina envasadora, los utensilios de trabajo y una adecuada formación en higiene del personal manipulador.

Los materiales de los envases y de las etiquetas deberán ser aptos para uso alimentario.

Esto se controla con el cumplimiento de las especificaciones del plan de homologación de proveedores para estos productos.

Al ser ésta una etapa de elevada manipulación, podrían surgir peligros físicos contaminando el alimento con materiales extraños a éste, como por ejemplo esquirlas metálicas, pelos o utensilios del manipulador, por lo que habrá que extremar las buenas prácticas de fabricación y manipulación.

- Almacenamiento en cámara de refrigeración del producto acabado

En esta etapa se aplican las mismas consideraciones que en la etapa de maduración con respecto a la limpieza y desinfección de las distintas superficies y sobre el control de temperatura y humedad de las cámaras.

4.5. Puntos críticos

En la tabla 5 se detallan, en función de la fase del proceso industrial en el que se encuentre, un análisis de peligros y puntos de control crítico, más concretamente, los posibles riesgos, las medidas preventivas a tomar, si se trata o no de un punto crítico, el procedimiento de vigilancia que ha de llevarse a cabo y las medidas correctoras en caso de que el producto contenga algún riesgo de salubridad. También se enmarca un registro general con información del producto en cada fase.

Fase	Riesgos	Medidas preventivas o de control	PCC	Limite critico	Procedimiento de vigilancia	Medidas correctoras	Registro
Recepción y almacenamiento de leche	- Microbiológico: presencia de patógenos por insuficiencia de enfriamiento durante el ordeño y transporte de la leche a la planta. - Contaminación por equipo, operario u otras prácticas no higiénicas - Químicos: residuos de antibióticos o plaguicidas. - Física: presencia de moscas, pelos, tierra.	-Provisión de leche en condiciones adecuadas - Refrigeración -Higiene de equipos -Homologación de proveedores	No	-Criterios microbiológicos - T ^a < 8°C -Especificaciones almacenamiento - Especificaciones sanitarias	-Control de cada partida (T ^a y características organolépticas) - Cumplir especificaciones de compra -Control transporte - Análisis microbiológicos periódicos	- Rechazo de leche no apta - Retirar homologación a proveedores - Corrección programa T ^a - Corrección condiciones almacén y transporte	-Registro de entradas -T ^a -Resultados análisis -Albaranes -Incidencias generales
Recepción y almacenamiento de otras materias primas	Microbiológico: Patógenos, mohos. - Físico: partículas ajenas al producto - Químico: aditivos no aptos -T ^a elevadas	- Revisión de partidas recibidas - Condiciones adecuadas transporte - Condiciones adecuadas conservación -Homologación proveedores -higiene de los locales - Programa de limpieza	No	Especificaciones técnicas sanitarias - Buenas prácticas de manipulación (B.P.M.) - T ^a , tiempo y humedad de almacenamiento	- Control de cada partida - Control de condiciones de transporte y almacenamiento - Análisis - Control de prácticas de manipulación	- Rechazo material no apta - Retirar homologación a proveedores - Corrección programa T ^a - Corrección condiciones almacén y transporte	-Registro de entradas -T ^a -Resultados análisis -Albaranes -Incidencias generales -Medidas correctoras
Pasteurización	Microbiológico: contaminación por equipo o tratamiento incorrecto	- Correcto funcionamiento de pasteurizador -Limpieza	Si	T ^a > 71,7 y tiempo > 15 seg o combinación equivalente - Programa de	- Revisión equipo - Revisión del sistema de desvío	- Rechazo o repetición tratamiento - Restablecer	- Registro del termógrafo -Incidencias -Medidas correctoras
Prensado previo, desuerado e introducción en moldes	-Contaminación microbiológica por manipulación y mantenimiento incorrectos	- Prácticas higiénicas de manipulación -Mantenimiento de T ^a adecuada - Duración adecuada de los procesos	No	T ^a y tiempo según establecido - Criterios microbiológicos - B.P.M. - Limpieza y desinfección	- Control de T ^a y tiempos - Control de pH - Control de B.P.M. - Control de programa de limpieza	- Restablecer prácticas de manipulación correctas - Restablecer condiciones higiénicas - Restablecer T ^a y tiempos adecuados - Rechazo	-Incidencias -Registro de tiempos y T ^a -Resultados analíticos -Medidas correctoras
Prensado final	-Contaminación microbiológica - Daños físicos	- Prácticas higiénicas de manipulación -Mantenimiento adecuado	No	T ^a y tiempo según establecido - Criterios microbiológicos - Tiempo de prensado adecuado - B.P.M.	- Control de T ^a , tiempo y presión - Análisis microbiológicos - B.P.M. - Programa de limpieza	- Restablecimiento de condiciones de presión y T ^a - Restablecer condiciones higiénicas - Rechazo lote afectado	-Incidencias -Registro de presiones -Resultados analíticos -Medidas correctoras
Salado	-Contaminación microbiológica -Contaminación química	- Prácticas higiénicas de manipulación - Preparación y mantenimiento adecuado de salmuera - Control de T ^a y tiempos de salado	No	Criterios microbiológicos - Concentración salmuera > 16% - T ^a < 12°C - B.P.M.	- Control de T ^a , pH, tiempo y concentración de la salmuera - Control microbiológico de salmuera - Control de prácticas de manipulación	- Restablecer T ^a y tiempos - Restablecer condiciones higiénicas y concentración - Rechazo - Restaurar salmuera	-Incidencias -T ^a , tiempos, y pH -Resultados analíticos -Caracteres salmuera -Medidas correctoras
Oreo y maduración	-Contaminación microbiológica	-Mantenimiento higiénico de locales - Control de T ^a y	Si	-Oreo: 10-13° C y 75-80% humedad - Maduración: 8-10°C y 85%	- Control de locales - Control de manipulación	- Restablecer condiciones higiénicas	-Registro de T ^a y humedad - Incidencias

		humedad - Seguimiento de B.P.M.		humedad - B.P.M.	- Control de T° - Control visual	- Restablecer T° y humedad - Prácticas de manipulación correctas - Rechazo	-Medidas correctoras
Aplicación de pimaricina	-Contaminación microbiológica -Contaminación química	-Mantenimiento higiénico - Control de productos utilizados - B.P.M. - Buena practicas limpieza y desinfección de los utensilios de trabajo	No	- Criterios microbiológicos - 1 g producto por kg queso	- Control de productos adecuados - Control de B.P.M. - Dosis adecuada	- Corrección dosis	-Incidencias Tratamiento aplicado -Medidas correctoras
Recepción y almacenamiento de material de envasado	-Contaminación microbiológica -Contaminación física	- Garantía sanitaria del proveedor -Manipulación adecuada -Mantenimiento higiénico de locales - Control de envases	No	Especificaciones de compra - B.P.M. - Programa de limpieza y desinfección	- Control visual - Control prácticas manipulación - Control condiciones locales - Control compra y proveedor	- Rechazo lotes - Restablecer higiene en locales - Restablecer prácticas manipulación	Certificados de compra -Incidencias -Medidas correctoras
Envasado	-Microbiológica: Contaminación del producto antes del envasado a través de los manipuladores y o medio ambiente o por un envasado deficiente o incorrecto -Mala aplicación del vacío.	- T° adecuada - Seguir B.P.M. -Mantenimiento higiénico y técnico de equipos	No	T° producto según establecido - T° termoformado - B.P.M. - Hermeticidad - Programa limpieza	- Control de manipulación - Control de limpieza - Control de T° de termoformado - Control T° producto - Pruebas de hermeticidad - Control limpieza	- Restablecer prácticas manipulación correctas - Restablecer condiciones termoformado o - Restablecer condiciones higiénicas - Rechazo producto afectado	- Incidencias -Temperatura -Resultados análisis
Conservación	-Contaminación Microbiológica: presencia de patógeno por temperaturas elevadas de refrigeración	-higiéne de locales - Refrigeración - B.P.M.	No	T° inferior 8° C - B.P.M. - Programa limpieza	- Control de locales - Control de manipulación - Registro de T° - Control limpieza	- Restablecer condiciones higiénicas - Restablecer T° - Corregir prácticas de manipulación - Rechazo lotes afectados	-Temperatura - Incidencias -Parte de salida de almacén
Distribución	-Contaminación microbiológica Por t° elevadas - Daños físicos por mal transporte	- Sistema distribución adecuado - B.P.M. -Mantener T° adecuada	No	- T° inferior 8° C - B.P.M. - Programa limpieza	- Control condiciones de distribución - Control de prácticas manipulación - Control de T°	- Sistema de distribución adecuado - B.P.M. - T° adecuada -Devolución partida	-Temperatura - Incidencias

Tabla 5: Análisis de peligros y puntos de control críticos según el trabajo de fin de grado de la universidad de la rioja; planta artesanal de elaboración de queso fresco y tierno de oveja.



CAPÍTULO 5. SISTEMA DE LIMPIEZA “CIP”

En este capítulo se describe el fundamento, funcionamiento, partes, tipos, validación y ventajas del sistema de limpieza CIP.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



5.1. Fundamento

La limpieza in situ (CIP) es un método de limpieza automático y se aplica para eliminar residuos de los equipos y circuitos de tuberías de una planta, sin necesidad de desmontar o abrir el equipo. Este sistema, está diseñado para que la limpieza sea rápida, productiva y consistente.

El funcionamiento de este sistema consiste en hacer circular soluciones químicas (detergentes y desinfectantes) y enjuagar con agua a través de los equipos de producción de alimentos, (en el capítulo 6 podremos ver la aplicación concreta en una industria de fabricación de queso) donde se incluyen los tanques y tuberías. En el caso de las superficies en contacto con el producto, será por chorro o aspersión en condiciones de mayor turbulencia y velocidad de flujo.

La eliminación de suciedad y microorganismos de las superficies, se lleva a cabo por la acción física, química y bacteriológica de los productos químicos utilizados. Este proceso de limpieza conlleva dos fases.

- Limpieza, eliminación de suciedad de las superficies y arrastre de algunos microorganismos.
- Desinfección, destrucción de microorganismos patógenos y reducción del número de los que son capaces de alterar los productos.

5.2. Elementos de los que depende la eficacia del proceso CIP

Para completar una limpieza eficiente deben estar presentes los cuatro elementos incluidos en el círculo de Sinner, ilustración 7.



Ilustración 7: Círculo de Sinner

Estos elementos son; la acción química referida a los productos de limpieza empleados, la energía mecánica, temperatura y tiempo. Todos los elementos deben estar presentes en todo momento durante la actividad de limpieza en distintas contribuciones. Si se desea disminuir alguno de estos elementos se debe incrementar otro/s para completar el cálculo.

Cada industria emplea diferentes parámetros de tiempo, temperatura, acción mecánica y acción química. En función del producto y el nivel de limpieza que desee alcanzar.

5.2.1. Temperatura

Afecta tanto a la viscosidad como a la velocidad de reacción.

(Smeulders, D. Timperley and C., 1988) han demostrado que el logaritmo natural del tiempo de limpieza es inversamente proporcional a la temperatura absoluta de la solución (ilustración 8). En la ecuación de Arrhenius, el logaritmo de la velocidad de reacción también es inversamente proporcional a la temperatura absoluta, lo que significa que cuanto más alta sea la temperatura de la solución detergente, más eficaz será su acción de limpieza. Es importante mantener la solución de limpieza en la línea de retorno CIP a una temperatura suficientemente alta para evitar los depósitos de suciedad en esta línea. Un sistema CIP debe mantener la temperatura entre ciertos valores durante todas las etapas del proceso de limpieza. Mientras que la limpieza manual debe realizarse a un máximo de 45-50 °C, la limpieza CIP puede realizarse a 85-90 °C. Temperaturas más altas (p. ej. 100-105 °C) se utilizan durante el lavado alcalino de una instalación UHT. Sin embargo, temperaturas demasiado altas pueden afectar negativamente la estabilidad física y química de la solución,

resultando la formación de una capa de suciedad tenaz. Muchas proteínas se desnaturalizan a temperaturas superiores a 80 °C e incluso a temperaturas mucho más bajas, lo que dificulta la eliminación de películas. Los tratamientos con ácidos se realizan normalmente a unos 60-70°C. Debido a que un detergente a base de enzimas tendería a ser inútil a temperaturas demasiado altas, una solución enzimática CIP no debe calentarse más allá de los 55 °C (F.A. Majoor, 2003)

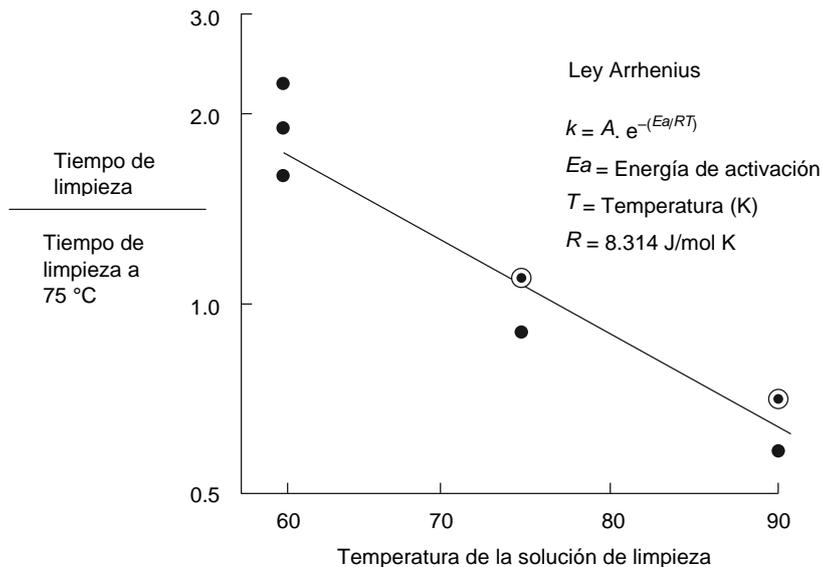


Ilustración 8: Tiempo de limpieza en función de la temperatura de la solución

5.2.2. Energía mecánica

En los procesos CIP, se refiere a caudales, velocidad y presión de flujo. Si se están limpiando tuberías, se deben considerar el caudal y la velocidad de flujo. Se debe conseguir durante la limpieza un flujo turbulento.

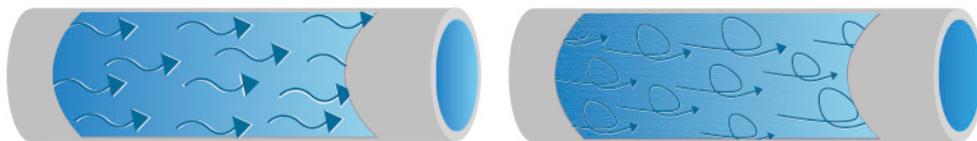


Ilustración 9: Tubería con flujo laminar y con flujo turbulento

Los mecanismos reales de limpieza dentro del circuito CIP se dividen en la limpieza de tuberías y la limpieza de recipientes.

- Efecto mecánico del fluido en tuberías



Las tuberías se limpian haciendo circular los líquidos de limpieza a una velocidad que resulta en una acción de desgaste en las paredes de la tubería. Las características de flujo de un líquido en una tubería pueden ser laminares ($Re < 2000$), transitorias (Re ; 2000-4000) o turbulentas ($Re > 4000$), y están influenciadas por factores como el diámetro de la tubería, el momento de flujo y la viscosidad del fluido. Si la velocidad es demasiado baja, se produce un patrón de flujo laminar a través de la tubería, lo que limita la interacción entre la solución de limpieza y la superficie sucia y, por lo tanto, reduce el potencial de limpieza. Eso implica que, la eficacia de la operación de limpieza puede mejorarse aumentando la velocidad de la solución. El flujo requerido en la tubería principal debe ser de al menos 1,35 m/s. En principio, los caudales superiores a 1,5 m/s no ofrecen mejores resultados de limpieza, como se puede observar en el gráfico de la ilustración 10, donde el tiempo de limpieza se estabiliza a partir de cierto valor de velocidad. Además, si la tasa de flujo es demasiado alta, esto puede dañar el equipo.

Por lo tanto, el diseño y funcionamiento de un sistema CIP debe garantizar una velocidad objetivo de al menos 1.35 m/s para el paso de los líquidos de limpieza. Cuando los recipientes y las tuberías se limpian simultáneamente, se debe poder obtener la velocidad correcta para limpiar eficazmente las tuberías aguas abajo de un tanque. Para sistemas más grandes y complejos, los tanques y las tuberías se limpian a menudo mediante circuitos de limpieza individuales, ya que estas líneas requieren un mayor rendimiento para obtener la velocidad lineal requerida de 1,5 m/s. Al decidir el tamaño de la bomba de suministro de CIP, es importante tener en cuenta que la bomba tiene que superar la pérdida de presión en el sistema de tuberías, resultante de la pérdida de fricción en la propia tubería, codos y tes, así como en cualquier equipo o instrumento instalado. Cuando se combinan tubos de diferentes diámetros en un sistema, se debe calcular la velocidad de flujo para cada tubo, así como compensar las pérdidas de presión variables.

La velocidad del fluido varía en el diámetro de la tubería, es más alta en el centro de la tubería y menor en la pared de esta (debido a la fricción), esto se denomina perfil de velocidad. La capa de líquido de la superficie de la tubería cuya velocidad es cero se denomina capa sub-laminar. Cuando se aumenta la velocidad, la capa sub-laminar se hace más delgada y la suciedad de la superficie de la tubería puede percibir la acción mecánica. Para una limpieza eficaz, la velocidad mínima requerida es 1,5 m/s, y para eliminar la capa sub-laminar se precisa $> 0,3$ m/s por lo que la velocidad de flujo recomendable durante el ciclo de limpieza debe ser de al menos 1,8 m/s.

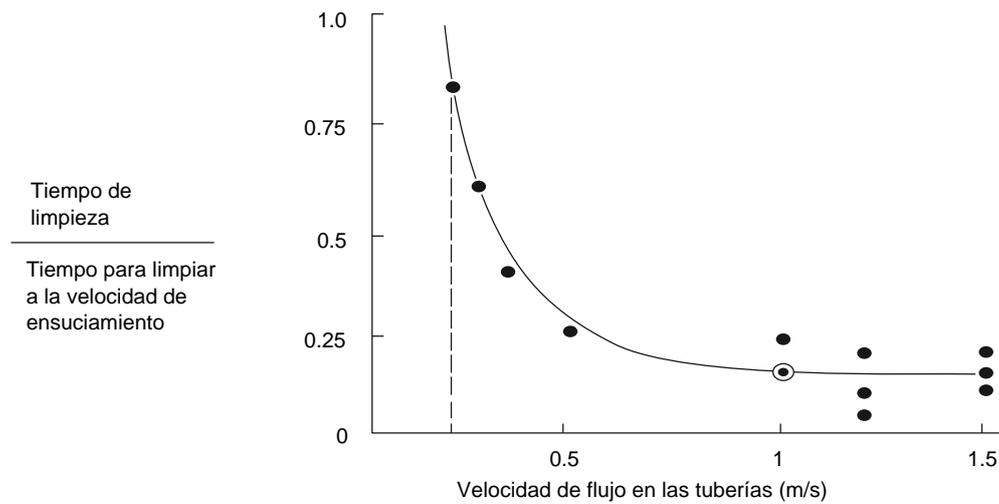


Ilustración 10: Tiempo de limpieza en función de la velocidad media del líquido en las tuberías según (Smeulders, D. Timperley and C., 1988)

De las experiencias de Osborn-Reynolds el reparto de velocidades en una tubería es función del diámetro de la tubería (D), caudal (Q), viscosidad (μ) y densidad del fluido (ρ)

Estas cuatro variables definen un número adimensional, el número de Reynolds, que figura en la ecuación 1:

$$Re = \frac{4 * Q * \rho}{\mu * D * \pi}$$

Ecuación 1: Número de Reynolds

Para alcanzar la limpieza deseada en sistemas de tuberías se deben seguir algunas indicaciones de interés:

- Diámetros constantes en tuberías y uniones
- No existencia de puntos muertos
- Velocidad del fluido uniforme
- Las tuberías deben ser capaces de drenar su contenido por gravedad (pendiente hacia drenaje)
- Prevención de resquicios



Se debe estudiar detenidamente la colocación de los accesorios de tuberías como té, reducciones de diámetro, etc., de forma que no queden bolsillos u otras zonas de difícil limpieza.

- Efecto mecánico del fluido en los recipientes

Para la limpieza de los tanques se rocían las paredes mediante una esfera de lavado. Es posible la limpieza simultánea de los tanques, siempre y cuando las bolas de limpieza, den una contrapresión significativa. Por lo tanto, la bomba de alimentación CIP debe tener la capacidad necesaria para ello. Normalmente, para la limpieza de tanques, es suficiente una capacidad de aproximadamente 10 m³/h por tanque. A la salida del tanque a limpiar, una bomba de retorno CIP debe tener al menos la misma o preferiblemente un 25% más de capacidad.

En la entrada y salida de disoluciones de limpieza a los tanques, se emplean sistemas de alta seguridad, que evitan, que, al limpiar un tanque, haya la posibilidad de entrada de disolución de limpieza a otros tanques con producto almacenado.

5.2.3. Acción química

La concentración de detergente debe ajustarse en función del tipo de suciedad y de la mayor dificultad para limpiar una parte de la línea de proceso o del equipo de proceso. Para eliminar los depósitos de leche de las superficies calentadas de un intercambiador de calor de placas, (Smeulders, D. Timperley and C., 1988) obtuvieron los mejores resultados con una concentración de detergente del 2,5%, como se muestra en el gráfico de la ilustración 11. Demostraron que el aumento de la concentración de detergente por encima del 2,5% en peso aumenta el tiempo de limpieza. Es importante controlar la concentración de la solución de detergente, especialmente en un sistema de reutilización, ya que las concentraciones elevadas de detergente (es decir, superiores al 2-3%) a menudo no son económicas.

Como recomendaciones generales, una solución de sosa cáustica al 1% es suficiente para la limpieza de tanques de almacenamiento, tuberías y tanques de fermentación, 1-2% para la limpieza de tanques multiuso e intercambiadores de calor de placas y 2-3% para la limpieza de plantas de ultra-alta temperatura (UHT). Sin embargo, hasta un 5% puede ser necesario para limpiar equipos muy sucios (Smeulders, D. Timperley and C., 1988) Las soluciones ácidas se utilizan normalmente en concentraciones menores o iguales al 1%, ya que en concentraciones más altas puede producirse corrosión de las superficies metálicas (F.A. Majoor, 2003)

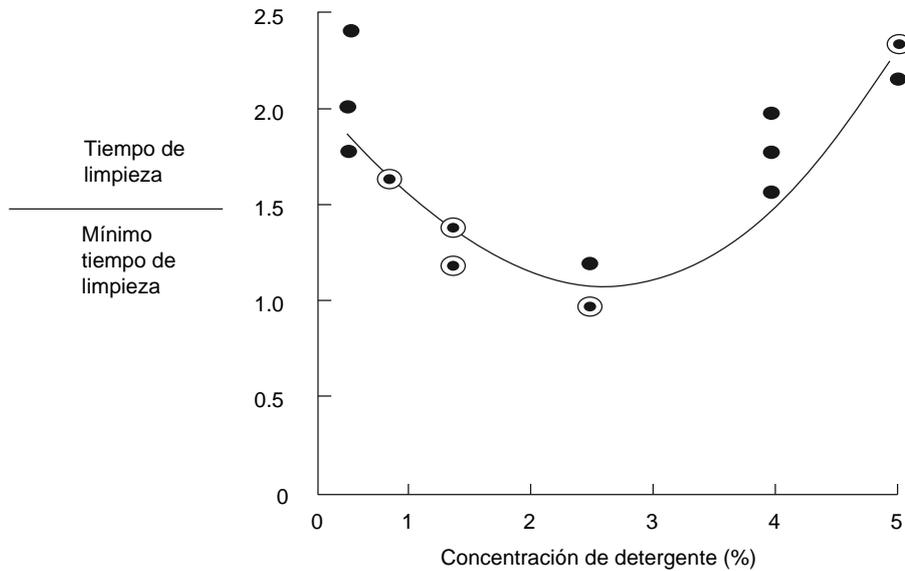


Ilustración 11: Efecto de la concentración de detergente frente al tiempo de limpieza

La elección del detergente más adecuado estará en función de:

- Rápida y completa solubilidad en agua.
- Rápida hidratación y disolución de la suciedad.
- Alto poder secuestrante.
- Buena capacidad de enjuague.
- No espumante.
- Compatible con el equipo a limpiar.
- No corrosivo.
- Biodegradable.

5.2.4. Tiempo

Todos los procesos físico-químicos de disolver o dispersar depósitos de suciedad dependen de factores de tiempo. Si se analiza desde el punto de vista de la eficiencia química del detergente, la suciedad se elimina capa a capa. Aunque tengamos una alta concentración de detergente, será necesario un cierto tiempo de contacto antes de poder eliminar la última capa de suciedad.



Un sistema CIP relativamente simple utiliza un proceso de inyección basado en el tiempo para administrar la dosificación química. Los sistemas más sofisticados incorporan instrumentos adicionales y determinan la dosificación proporcional según el flujo y la conductividad real.

En general, cuanto más tiempo dure el proceso CIP, mejor será el resultado de la limpieza. Sin embargo, hay un cierto período de tiempo más allá del cual el aumento adicional de la eficacia es muy escaso, a la vez que se consume un valioso tiempo de producción. Dado que se deben aplicar volúmenes relativamente altos de solución a las superficies sucias durante períodos de tiempo que van desde tan sólo 5 minutos hasta 1 hora, la recirculación de la solución de limpieza es esencial para mantener la rentabilidad. Es muy difícil estimar el tiempo de limpieza requerido. Depende de muchos factores, como los que se han detallado anteriormente, incluyendo la estructura de los suelos, el nivel de obstrucción, el tipo de equipo que se está limpiando, el impacto de los rociadores/chorros de solución de limpieza en la superficie del equipo. Si las operaciones de proceso se realizan a una temperatura demasiado alta y si hay un largo período de tiempo antes de iniciar el proceso CIP, la cohesión del producto y la adhesión se incrementan. Como resultado, el factor de energía en la ecuación de Arrhenius, para superar estas fuerzas de cohesión y adhesión más altas, tiene que ser incrementado, de modo que se debe suministrar más energía química, térmica y mecánica y, por lo tanto, se requerirán tiempos de limpieza más largos. En la práctica, un procedimiento completo de pruebas de validación puede permitir determinar los tiempos adecuados de contacto y enjuague necesarios para limpiar cada parte del equipo. Sin embargo, la forma más rápida es realizar inspecciones visuales de algunas partes críticas del equipo de proceso (codos, tes, etc.) al final del ciclo de limpieza (F.A. Majoor, 2003)

5.2.5. Otros factores que determinan la efectividad del sistema

- Calidad del agua

El agua es el componente principal de las soluciones de limpieza, y normalmente constituye al menos el 95%. Para obtener resultados de limpieza óptimos, el agua utilizada para preparar las soluciones de limpieza debe ser de calidad suficiente. Para los procesos de CIP, se debe utilizar agua potable apta para el consumo humano (libre de iones metálicos tóxicos, microorganismos y patógenos en descomposición, etc.). Las siguientes sustancias o parámetros han demostrado ser problemáticos durante los procesos CIP y deben ser monitoreados cuidadosamente:

- Dureza total: la suma de la dureza del carbonato ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, MgCO_3) y la dureza no carbonatada (CaCl_2 , MgCl_2 , CaSO_4 , MgSO_4 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$) puede expresarse en mg/l de CaCO_3 . El agua muy dura, dura, moderadamente dura y blanda tiene una dureza total de más de 200 mg/l, 120-200 mg/l, 60-120 mg/l y 0-60 mg/l de CaCO_3 respectivamente. Cuando la temperatura y/o alcalinidad del agua aumenta, la solubilidad de los componentes que causan la dureza disminuye, resultando en la formación de incrustaciones. Además, una cantidad excesiva de sales inorgánicas puede reducir la eficacia de los detergentes. La dureza total debe ser mayor a 5.0 mg/l de CaCO_3 , y el calcio (Ca) y el magnesio (Mg) deben estar presentes en concentraciones menores a 100 y 30 mg/l respectivamente.
- Dureza de los carbonatos: los carbonatos se descomponen al calentarlos, liberando CO_2 y depositando incrustaciones en distintos equipos. Estos depósitos en las superficies de los equipos no sólo reducen la eficacia general de transferencia de calor de la planta, sino que también pueden proporcionar un núcleo para que se produzcan otras deposiciones de suelo. La alcalinidad (HCO_3^-) debe ser menor a 30 mg/l.
- Conversión de la dureza no carbonatada en depósitos insolubles: esto se debe a la presencia de ciertos álcalis. Los componentes específicos se incorporan a los detergentes para minimizar la precipitación.
- Silicatos: en altas concentraciones pueden formar capas opacas sobre superficies de acero inoxidable. Las concentraciones deben ser menores a 40 mg/l en SiO_2 , que puede obtenerse añadiendo un intercambiador de aniones de base fuerte.
- Hierro y manganeso: pueden hacer que el agua sea más corrosiva, causar depósitos de color en las superficies de los equipos (por encima de 0,3 ppm) y reaccionar con secuestrantes. Las concentraciones de Fe y Mn deben ser menores a 0,2 y 0,05 mg/l respectivamente. Pueden ser eliminados por precipitación y filtración.
- Cloruros: pueden provocar picaduras, corrosión bajo tensión y fallo del acero inoxidable en cantidades tan bajas como 40-50 mg/l y en combinación con valores de pH menores a 9,5. El agua municipal puede contener hasta 300-600 mg/l Cl⁻. Las concentraciones de cloruro deben ser menores a 250 mg/l.
- Sulfatos: las concentraciones deben ser menor a 250 mg/l para evitar la corrosión de materiales que contengan hierro.



- Nitratos: Concentraciones por encima de 20-50 mg/l atacarán al hierro si el agua es blanda. En el agua potable, las concentraciones de NO_3 deben ser menores a 50 mg/l.
- Turbidez: causada por partículas sólidas en suspensión en el agua. Los sólidos suspendidos en una concentración de 1 ppm causan turbidez visual y pueden formar depósitos en las superficies limpias del equipo. En cuanto a la turbidez, el agua potable debe cumplir los siguientes criterios: turbidez menor a 1 unidad nefelométrica de turbidez (NTU), materia seca (después de secarse a $180\text{ }^\circ\text{C}$) menor a 1000-1500 mg/l, sólidos en suspensión y partículas coloidales de concentración menor a 1 mg/l. Los métodos más apropiados para eliminar la materia en suspensión son la sedimentación y la filtración.
- Recuento bacteriano total: los coliformes y *Escherichia coli* deben estar ausentes en 100 ml.
- Colores, sabores y olores: deben estar ausentes o ser organolépticamente indetectables. Los sabores, olores y colores desagradables pueden eliminarse mediante el tratamiento con ozono o la filtración con carbón activado.
- Gases disueltos: O_2 , CO_2 y H_2S pueden causar muchos problemas. El oxígeno disuelto promueve la oxidación de metales, especialmente hierro, latón y metal galvanizado. El CO_2 puede formar ácidos débiles que pueden causar corrosión. Por lo tanto, se requerirá la suplementación de álcali adicional. La desaireación es el método más común para eliminar los gases disueltos.
- Sólidos disueltos totales (TDS): el total de todos los productos químicos disueltos en el agua no suele ser problemático para la limpieza y desinfección, pero preferiblemente debe ser inferior a 500 mg/l.
- pH: debe ser de 6,5-8,5 (el pH máximo permitido es de 10). Si la empresa de fabricación de alimentos está situada en una zona de agua dura, es probable que el agua esté muy cargada de minerales que pueden formar incrustaciones. Por lo tanto, o bien la formulación del detergente debe ajustarse con un agente secuestrante y aditivos para mantener el calcio en suspensión, o bien, el agua debe ser tratada para reducir el contenido mineral antes de su uso para la limpieza. La eficacia de los enjuagues post-limpieza está directamente relacionada con la calidad del agua. Las sales minerales en el agua de enjuague se precipitan más fácilmente de las soluciones alcalinas que de las soluciones ácidas.



- Parámetros de diseño y construcción de los equipos de proceso a limpiar.

Para lograr una limpieza eficiente y eficaz, el equipo de proceso debe estar diseñado higiénicamente con materiales químicamente compatibles, con una mínima fuerza de unión electrostática y superficies lisas.

Un correcto estudio de la ingeniería de diseño permite evaluar el tipo de sistema y diseñar la combinación apropiada de los factores arriba mencionados. Es totalmente necesario que las soluciones de limpieza pasen por toda la superficie de los equipos de la instalación que están en contacto con el producto, y, por tanto, no deben existir recovecos ni bolsillos que resulten inaccesibles.

- Los equipos y maquinarias deberían ser aptos para ser incluidos en este sistema de limpieza.
- Todas las superficies en contacto con el alimento (leche o queso) deberán ser incluidas en el circuito de limpieza.
- Las líneas y equipos que se someten al proceso de limpieza serán de superficies internas lisas y no tendrán fondos ciegos.
- Las tuberías de los circuitos sean todas del mismo diámetro para que no se produzcan fluctuaciones en las velocidades de flujo de las soluciones de limpieza.

La superficie de los equipos y las líneas de tuberías se limpian todos los días después de terminar el turno. Un sistema CIP incluye líneas de tuberías, interconectadas con válvulas para dirigir el fluido a las localizaciones adecuadas y para controlar el circuito. El interfaz permite controlar el tiempo y el flujo de aire en las válvulas para preparar un ciclo de limpieza.

- Calidad del trabajo realizado por los operadores y el personal de garantía de calidad.

Algunos operadores presentan requisitos de calidad más elevados que otros y las opiniones sobre lo que constituye la limpieza pueden diferir. Cuando los procesos CIP son controlados manualmente por los operarios, la limpieza de



un equipo de proceso determinado puede realizarse de forma diferente, especialmente si los operarios no respetan la duración óptima predefinida de cada paso del programa de limpieza. Por lo tanto, es posible que no se alcance el nivel de limpieza predefinido, a pesar del uso de procesos CIP.

Aunque la predefinición y el control del nivel de limpieza ya no es tarea de los operadores, normalmente el personal de control y/o aseguramiento de la calidad se encarga de ello. Aun cuando exista un nivel de limpieza predeterminado mediante métodos analíticos que hayan demostrado generar resultados consistentes, si el muestreo de las superficies de los equipos limpiados o el análisis de la muestra no se realizan correctamente, el nivel de limpieza observado será nulo y sin efecto. Para reducir el factor de error humano en la medida de lo posible, los operadores que participan en las operaciones de limpieza in situ deben estar bien formados y tener conocimientos básicos sobre la inocuidad de los alimentos, los riesgos de contaminación, las diferencias entre la limpieza manual y la limpieza automatizada por medio de la limpieza in situ, los procedimientos de limpieza, la supervisión de la limpieza (ya sea visualmente o por muestreo de las superficies limpiadas), lo que está limpio o no, las cuestiones de seguridad relacionadas con la limpieza in situ manual o automática, etc.

5.3. Productos químicos de limpieza y desinfectantes a utilizar

- Productos químicos de limpieza

Debido a que no existe una fórmula universal de detergente, se debe seleccionar un detergente que proporcione los mejores resultados de limpieza para un tipo específico de suciedad. La selección de un producto de limpieza adecuado es una tarea exigente, ya que, debe cumplir varios criterios, entre ellos:

- 1) Ser efectivo contra una amplia gama de suelos.
- 2) Excelentes propiedades de humectación, emulsión de grasas y retención.
- 3) La posibilidad de poner la suciedad en suspensión y mantenerla dispersa en la solución de limpieza.
- 4) Limpieza óptima a baja concentración.
- 5) Rápida y completa solubilidad en agua.
- 6) Excelente tolerancia al agua dura.



- 7) Baja formación de espuma para permitir un enjuague rápido y completo sin dejar residuos de detergente.
- 8) Propiedades de grado alimentario; no tóxico, libre de perfumes y colorantes...
- 9) Seguro de usar y autorizado por las regulaciones.
- 10) Compatible con todos los materiales de construcción, no corrosivo.
- 11) Sin efectos nocivos en las superficies de los equipos.
- 12) Respetuoso con el medio ambiente (biodegradable).
- 13) Concentración detectable por sensores electrónicos.
- 14) Bajo costo.

Dependiendo del resultado de limpieza requerido, que varía desde la limpieza física, pasando por la limpieza química, hasta la limpieza microbiológica, existe en el mercado una amplia selección de formulaciones de detergentes de componentes múltiples. Se pueden dividir en tres tipos diferentes: alcalinos, neutros o ácidos.

- Formulaciones de detergentes alcalinos.

Se utilizan típicamente para remover los residuos orgánicos y comúnmente consisten en los siguientes ingredientes:

- NaOH o KOH: Estos tienen el mismo poder de hidrólisis y peptización sobre la grasa y proteínas, respectivamente. A pesar de ser mejor enjuagable que otros, el uso de KOH es menos común debido a su costo.
- Silicatos, fosfatos, fosfonatos y citratos: Se utilizan por sus propiedades de suspensión y para mejorar la eficacia de los tensoactivos en la eliminación de la suciedad.
- Agentes activos de superficie: realizan muchas funciones como humectación, penetración en el suelo, suspensión del suelo, dispersión y emulsificación. Además, ayudan a enjuagar la superficie del equipo al reducir la tensión superficial.
- Los secuestrantes (que eliminan selectivamente algunos iones) estequiométricos como el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), el ácido nitrilotriacético (NTA) y el gluconato: funcionan en los limpiadores alcalinos, en proporciones estrictamente estequiométricas, como verdaderos agentes complejantes, suprimiendo el impacto negativo de la dureza del agua y mejorando la eliminación del suelo inorgánico.



- Fosfonatos, polifosfonatos, poliacrilatos; estos son activos en concentraciones subestequiométricas. También pueden evitar la deposición de sarro de agua en las superficies de los equipos durante los ciclos de enjuague.
- Hipocloritos y peróxido de hidrógeno: su efecto oxidante ayuda a la eliminación de suelos tenaces e insolubles. Sin embargo, los hipocloritos pueden causar picaduras en el acero inoxidable y contaminar ciertos plásticos.
- Inhibidores de corrosión como polisilicatos, carbohidratos modificados y fosfonatos: normalmente se añaden a la formulación del detergente para evitar la corrosión del acero inoxidable por los productos químicos de los detergentes.
- Surfactantes hidrofóbicos no iónicos: actúan como antiespumantes, reduciendo el impacto negativo que la formación de espuma tiene en la eficiencia de la limpieza y el tiempo necesario para enjuagar el equipo sin detergente.
- Formulaciones de detergentes neutros.
 - Fosfatos, fosfonatos y citratos: proporcionan una alcalinidad y una capacidad de amortiguación suaves a la solución de limpieza. Su poder humectante, su poder de elevación del suelo, su poder de dispersión y su poder emulsionante son superiores a los de NaOH y KOH. Sin embargo, son más caros.
 - Tensioactivos no iónicos o aniónicos: permiten la penetración en el suelo, la emulsificación del suelo y la humectación de la superficie, y tienen baja tensión superficial. Los tensioactivos no iónicos son preferibles a los tensioactivos aniónicos, debido a la formación de espuma causada por estos últimos.
 - Enzimas como las proteasas, lipasas y amilasas pueden eliminar los depósitos tenaces de proteínas, grasa (en ausencia de surfactantes) y almidón, respectivamente. Los productos de limpieza a base de enzimas se utilizan comúnmente para la limpieza de equipos de filtración de membrana porque son menos agresivos que los detergentes más comunes. También han demostrado su valor en la limpieza de intercambiadores de calor de placas y tubos.
- Formulación de detergentes ácidos.



Los depósitos minerales en el equipo son casi imposibles de eliminar con limpiadores alcalinos y, en diferentes grados, un limpiador alcalino puede incluso contribuir a la formación de un depósito mineral. Por lo tanto, se requiere un ciclo de limpieza ácido para disolver las sales minerales o para eliminar las incrustaciones que se forman después del ciclo de limpieza alcalina. Un detergente tipo ácido necesita producir un pH de 2,5 o menos en la solución de uso final, funcionar bien tanto en agua dura como blanda y causar la menor corrosión posible en los metales. Las formulaciones de detergentes ácidos son típicamente mezclas de ácidos inorgánicos, ácidos orgánicos o sales ácidas, generalmente con la adición de otros ingredientes (Moerman, 2003; Rohsner, 2005). Estos se enumeran a continuación. Los ácidos inorgánicos, como el ácido nítrico, sulfúrico, sulfónico y fosfórico, tienen una alta resistencia ácida, pero a menudo son corrosivos, potencialmente peligrosos para el trabajo (irritan la piel, los ojos, etc.), dañinos para la ropa y pueden precipitar algunas sales solubles. Las soluciones de limpieza con 1-2% de ácido nítrico pueden eliminar residuos inorgánicos como cascarilla, piedra de leche y piedra de cerveza. Se utilizan para limpiar y desmineralizar intercambiadores de calor y evaporadores, aunque los vapores nitrosos pueden presentar riesgos de quemaduras en la piel y dificultar el trabajo de los operadores. Debido a sus propiedades oxidantes a mayores concentraciones, el HNO_3 no puede utilizarse en formulaciones más complejas, por ejemplo, con tensioactivos.

En su forma cruda, el ácido sulfúrico es corrosivo para el acero inoxidable y, por lo tanto, debe formularse con un inhibidor de la corrosión. H_2SO_4 en una solución al 1% es la fuente más barata de acidez, pero su detergencia inherente es pobre, por lo que no es rentable. La aplicación de H_2SO_4 en las prácticas de limpieza también debe limitarse a 40 °C. El ácido fosfórico, es eficaz, pero cuando se utiliza con frecuencia, puede producirse un aumento significativo de la carga de fósforo en las aguas residuales. Como pocas empresas procesadoras de alimentos tienen un paso de eliminación de P disponible en su planta de tratamiento de aguas residuales, se deben utilizar ácidos orgánicos en lugar de ácido fosfórico.

El ácido sulfámico se utiliza frecuentemente para la eliminación de óxido y cal. Comparado con la mayoría de los ácidos minerales fuertes comunes, el ácido sulfámico tiene propiedades descalcificadoras deseables en el agua, baja volatilidad y baja toxicidad. Aunque es menos corrosivo, todavía se requieren inhibidores de corrosión.

Los ácidos orgánicos como el ácido fórmico, acético, cítrico, tartárico, láctico y glucónico son mucho menos agresivos que los ácidos minerales. También son menos corrosivos, menos peligrosos y están generalmente aceptados en la



práctica alimentaria. Sin embargo, aumentarán la carga de demanda química de oxígeno (DQO) de las aguas residuales. Aunque los propios ácidos son bastante biodegradables, en grandes cantidades pueden afectar a la descomposición de los efluentes de las aguas residuales, ricos en materia orgánica, que son de baja degradabilidad. En la mayoría de los casos, sin embargo, estos problemas se deben en realidad a la insuficiente capacidad de tratamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales debido a la falta del suministro de oxígeno necesario para la degradación de la carga de residuos.

En su lugar se pueden utilizar ácidos sulfónicos que son mucho más fuertes que los ácidos carboxílicos correspondientes. Suelen ser solubles en agua, incoloros y no oxidantes, y presentan propiedades parecidas a las de los detergentes, lo cual es conveniente para la limpieza de equipos de procesamiento de alimentos.

Un agente oxidante ácido que se utiliza regularmente en las prácticas de limpieza es el ácido peracético (PAA). El PAA no produce espuma y es eficaz como detergente y desinfectante. Sin embargo, tiene un olor irritante, puede atacar las juntas de goma y puede causar corrosión. Además, una carga de PAA demasiado elevada puede causar problemas de tratamiento de efluentes, debido a su impacto destructivo en la biomasa de la planta de tratamiento de aguas residuales. Otros ingredientes que pueden ser añadidos incluyen los siguientes:

- o Tensioactivos no iónicos o aniónicos: proporcionan eficacia de limpieza en el caso de suelos orgánicos, mejoran las propiedades de eliminación de incrustaciones y se utilizan para eliminar residuos de grasa.
- o Inhibidores de corrosión como los ácidos fosfónicos: se añaden para evitar la corrosión del acero inoxidable.
- o Surfactantes hidrofóbicos no iónicos, que actúan como antiespumantes.
- o Sustancias hidrotróficas.

- Desinfectantes

El objetivo de la desinfección es reducir el número de microorganismos que deterioran los alimentos (responsables de los colores, sabores y olores desagradables) y de los patógenos que pueden estar presentes en los equipos de proceso después de la limpieza. Para que el proceso de desinfección tenga éxito, las superficies de los equipos de proceso deben limpiarse a un nivel



suficiente para eliminar los residuos del suelo, lo que reduciría la eficacia de los desinfectantes. Los productos químicos utilizados en las formulaciones desinfectantes (P.H. Rizoulières et al (2009) and D. Rohsner (2005)) incluyen los siguientes:

- Desinfectantes oxidantes (hipocloritos, con iodo, ozono, ácido peracético, peróxido de hidrógeno), cuya actividad oxidante mata microorganismos.
- Desinfectantes no oxidantes (compuestos de amonio cuaternario, sustancia anfótera, alcohol) que matan o inactivan microorganismos mediante reacciones complejas no oxidantes, ya sea en el exterior o en el interior de la célula microbiana. El formaldehído y los fenólicos son muy eficaces, pero son tóxicos, irritantes y causan malos olores. No se deben utilizar compuestos de amonio cuaternario, ya que producen espuma.
- Los agentes tampón (bases, ácidos o sales) se utilizan para proporcionar el pH óptimo requerido para que el biocida sea activo, para controlar el riesgo de corrosión típico de los desinfectantes oxidantes o para proporcionar la estabilidad necesaria al desinfectante en forma de solución o concentrado.
- Los surfactantes no iónicos o aniónicos mejoran la humectación de la superficie o mejoran las aplicaciones de espuma.

5.4. Operaciones del programa en el sistema CIP

Existen diferentes programas de limpieza para cada tipo de industria, pero no así un programa universal que pueda utilizarse en todo tipo de empresas del mismo sector alimentario. Mismamente, el agua empleada en las operaciones CIP puede dar resultados de limpieza muy diferentes, incluso cuando se aplican en la misma instalación, idénticas variables CIP y el mismo programa.

Los requisitos CIP difieren en sistemas abiertos, (depósitos), y en sistemas cerrados (tuberías).

Los parámetros de limpieza utilizados dependen del tipo de suciedad a eliminar y han de determinarse experimentalmente. Entre esos parámetros se encuentran, el tipo y concentración del detergente, temperatura, caudal y secuencia y duración de cada paso del programa CIP.

En la limpieza CIP, la secuencia completa de limpieza suele ser la siguiente:



- Operación de prelavado a altas temperaturas para eliminar o recuperar el fluido del proceso y reducir la carga de suciedad antes de la limpieza. También aquí, se produce la recuperación de residuos de producto mediante drenaje, arrastrándolos con agua o expulsándolos mediante aire comprimido.
- Pre enjuague que utiliza una fuente de agua potable fresca, limpia y fresca (25°C) o reutiliza el agua del lavado intermedio o final. Esta operación dura de 3 a 10 minutos y finaliza cuando se agota el efluvio.
- Lavado alcalino, se calienta el agua de enjuague o fresca (55-90°C) y se añade detergente. En este paso debe recircularse la solución de limpieza para economizar la operación ya que requiere tiempo de contacto relativamente largos (10-60min).
- Enjuague intermedio con agua potable, caliente o a temperatura ambiente para eliminar la solución alcalina y la suciedad residual disuelta. Puede aplicarse una vez o recircularse.
- Lavado/enjuague con ácido recirculado. Esta operación se emplea para neutralizar el limpiador alcalino residual y para eliminar los restos sólidos adheridos a los equipos. La solución de limpieza ácida utiliza el enjuague residual del paso anterior, a una concentración baja. Las temperaturas de la solución oscilan entre los 50 y 70°C y los tiempos de limpieza de 3 a 30 min. Para la recuperación de la solución ácida, el circuito CIP se purgaría con aire comprimido de grado alimenticio. Esta fase es opcional.
- Segundo enjuague intermedio con agua fría para eliminar los restos de ácido y la suciedad adicional persistente del lavado ácido. Este enjuague puede ser recirculado. En el caso de no realizarse el paso siguiente de desinfección, el agua del enjuague se calienta para permitir el secado rápido del equipo.
- Desinfección química o por calor para reducir el número de microorganismos en las superficies previamente limpiadas. En la desinfección química, se utiliza agua dulce a temperatura ambiente, con productos químicos desinfectantes (hipoclorito, yodoformo, agua oxigenada), inyectados en el agua, justo antes de la bomba de suministro CIP. Si el fabricante de alimentos prefiere la esterilización con agua caliente a presión, el agua dulce se calienta por recirculación sobre un intercambiador de calor de placas o por medio de vapor inyectado directamente en el flujo.
- Enjuague final con agua estéril en el caso de haber realizado la desinfección química. En el caso de haber realizado la desinfección por calor, no es necesario realizar este paso, aunque sí el vapor, debería ser sustituido por aire estéril para que no se produzca un vacío en el equipo.



- Secado. Una vez finalizado el ciclo de enjuague, los equipos implicados pueden purgarse con aire estéril caliente o a temperatura ambiente para ayudar así, a secar el equipo

El control totalmente automático de los programas de limpieza es preferible al control manual. Los parámetros como los tiempos de enjuague, drenaje y recirculación, las temperaturas, la concentración de detergente y la tasa de flujo deben ser monitoreados y controlados a través de la instrumentación o del diseño de ingeniería.

Estos parámetros se comienzan a controlar, una vez que se comprueba que el programa proporciona un nivel adecuado de limpieza.

5.5. Componentes del sistema CIP

Un sistema general “CIP” podría tener los siguientes componentes, detallando en el apartado 5.6, los tipos de sistemas “CIP” existentes con sus respectivas partes.

Dentro de un sistema de CIP se pueden diferenciar dos elementos esenciales:

- Estación de CIP: consta de todos los equipos necesarios para el almacenamiento, monitoreo, control y distribución de soluciones limpiantes a cada uno de los circuitos de CIP.
- Circuito de CIP: sistema cerrado por el cual el líquido limpiante va fluyendo a través de los equipos y regresa finalmente de nuevo a los tanques. Todos los componentes del mismo circuito, por ende, deben permitir ser limpiados al mismo tiempo. Es normal encontrar en una planta varios circuitos de CIP debido a las diferentes naturalezas de los depósitos a limpiar, y la simultaneidad de limpieza que el proceso permita.

Respecto a los posibles equipos presentes:

- Depósito de agua recuperada: almacena agua procedente del enjuague final con agua limpia después del lavado anterior.
- Depósito de solución alcalina: almacena la solución de limpieza alcalina.
- Depósito de solución ácida: almacena la solución de limpieza ácida.
- Depósito de agua de red: almacena agua limpia para los enjuagues intermedio y final.



- Depósito de desinfectante: Almacena el producto desinfectante. Algunos sistemas CIP no lo contienen, si la desinfección se realiza por calor.
- Válvulas e interconexiones.
- Bomba o bombas de impulsión, según el número de líneas de limpieza. Deben cumplir con varias características importantes; la capacidad de flujo de la bomba que asegure un régimen de flujo turbulento y una limpieza efectiva, la cabeza de la bomba que está relacionada con la altura de la tubería, las pérdidas por fricción, la temperatura y la presión de la solución bombeada y por último, la cabeza de succión, que es la capacidad de succión en la entrada a la bomba, la cual es de vital importancia para prevenir la cavitación; depende de la temperatura, presión y elevación del nivel del fluido.

5.6. Diferentes tipos de limpieza CIP con sus fases

Existen cuatro tipos básicos de conceptos de CIP: limpieza de llenado, ebullición y descarga de tanques, sistemas CIP de una sola vía, sistemas CIP de un solo uso y sistemas CIP con reutilización. El tipo de estación CIP apropiada para una planta de proceso depende de criterios económicos, de las regulaciones locales sobre agua y aguas residuales, del tamaño y número de objetos a limpiar, de la frecuencia de las operaciones de limpieza y del riesgo de contaminación cruzada potencial por microorganismos y alérgenos.

5.6.1. Sistema CIP de llenado, ebullición y descarga

Este método requiere que, al comienzo de un proceso, haya un tanque, ilustración 12, con un volumen suficiente para contener suficiente solución limpiadora para todo el sistema a limpiar. En este tipo de limpieza, después de la limpieza manual, el depósito se llena con agua y se añade detergente. A continuación, la solución de limpieza se calienta hasta el punto de ebullición. Esta técnica de limpieza no requiere tuberías ni dispositivos de pulverización adicionales a los necesarios para el proceso en sí, por lo que no se necesita ninguna o muy poca inversión de capital. Sin embargo, además de ser intensivos en tiempo y energía, la ebullición no hacen el uso más efectivo de las soluciones de limpieza acuosas. No hay circulación residual y la solución de limpieza se drena, por lo que el coste del agua y los detergentes utilizados es elevado. Además, la repetitividad es pobre; los resultados son a menudo inconsistentes o insatisfactorios, lo que hace que esta técnica de limpieza sea difícil de monitorear y validar.

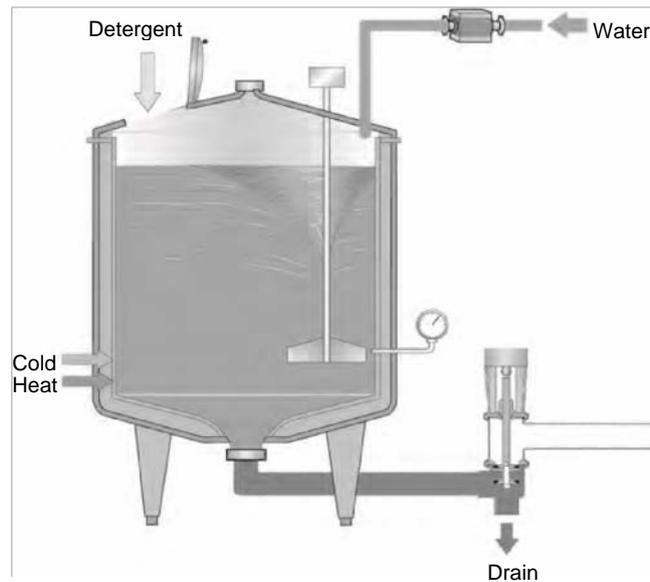


Ilustración 12: Sistema CIP de llenado, ebullición y descarga

5.6.2. Sistema CIP de una sola vía

En una instalación CIP de un solo paso, ilustración 13, se suministra una solución de limpieza, recién preparada, desde un único depósito lleno de agua al que se añaden agentes de limpieza en el depósito o en línea. No hay circulación residual en el sistema de limpieza; las soluciones de lavado y enjuague no se devuelven a la instalación CIP y la solución de limpieza se drena. Apenas se necesita ninguna inversión en equipamiento adicional. La principal desventaja de este sistema es que los líquidos de limpieza se utilizan una sola vez, lo que significa que se descargan al final del ciclo. Por lo tanto, los costes de funcionamiento de los detergentes, desinfectantes, energía y agua pueden ser elevados, y se producen grandes cantidades de efluentes, lo que aumenta los costes de tratamiento del agua y de eliminación de residuos. La limpieza también puede llevar mucho tiempo porque, después de cada ciclo, se debe preparar un nuevo lote de solución de limpieza. El sistema de limpieza de una sola vía también es difícil de monitorear y validar (F.A. Majoor, 2003) Este método CIP de un solo paso sólo se recomienda para plantas de proceso relativamente pequeñas y equipos de proceso muy sucios o especializados, por ejemplo, membranas de separación. Este concepto también es apropiado y se utiliza comúnmente cuando el riesgo de contaminación cruzada es alto, como en la industria farmacéutica (Lorenzen, 2005).

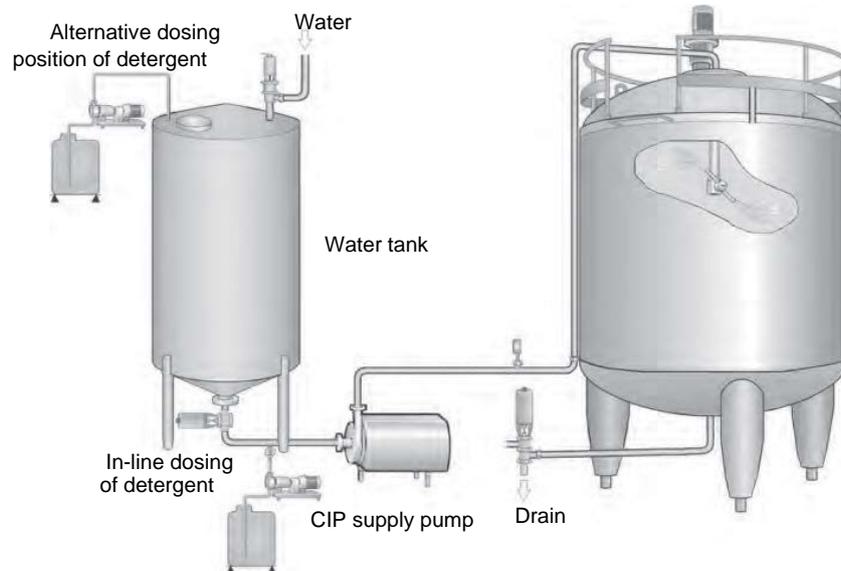


Ilustración 13: Sistema CIP de un solo paso

5.6.3. Sistema CIP de empleo no recuperable

Los sistemas de empleo no recuperable, ilustración 14, utilizan volúmenes de solución más pequeños, ajustados automáticamente a la concentración de detergente y a la temperatura requeridas. Los sistemas de un solo uso suelen ser pequeñas unidades embaladas con un tanque, tuberías, bombas centrífugas, válvulas y varias bombas dosificadoras para alimentar automáticamente los productos químicos de limpieza de los contenedores de transporte o de almacenamiento a granel.

La solución de limpieza puede ser calentada por un intercambiador de calor externo, la camisa del tanque, el serpentín de calentamiento en el tanque o un dispositivo de inyección directa de vapor. Estos sistemas CIP utilizan la solución sólo una vez con la resistencia más baja posible y la descargan al alcantarillado al final de cada ciclo. El tanque debe tener una capacidad suficiente para que el equipo de proceso y las tuberías puedan limpiarse.

Para reducir las pérdidas por los pasos intermedios de enjuague y las salidas de agua, las vías de entrada y salida de los medios de limpieza deben ser cortas, lo que exige que el sistema CIP esté situado junto al equipo que se va a limpiar y desinfectar. De este modo, se puede minimizar el consumo de soluciones de limpieza. A veces, se instala un depósito de agua adicional para retener el último agua de enjuague, que puede utilizarse como preenjuague en un ciclo de limpieza posterior. Los sistemas CIP de uso único son pequeños en tamaño, de diseño simple, de baja inversión inicial y flexibles en su aplicación.

Son adecuados para la limpieza de equipos relativamente pequeños pero muy sucios o para procesos en los que la contaminación cruzada está estrictamente prohibida. Los sistemas de un solo uso se utilizan especialmente en la industria farmacéutica debido al temor a la contaminación cruzada que podría surgir al reciclar soluciones de limpieza, pero rara vez se utilizan en la industria agroalimentaria (P.H. Rizoulières et al (2009) and D. Rohsner (2005))

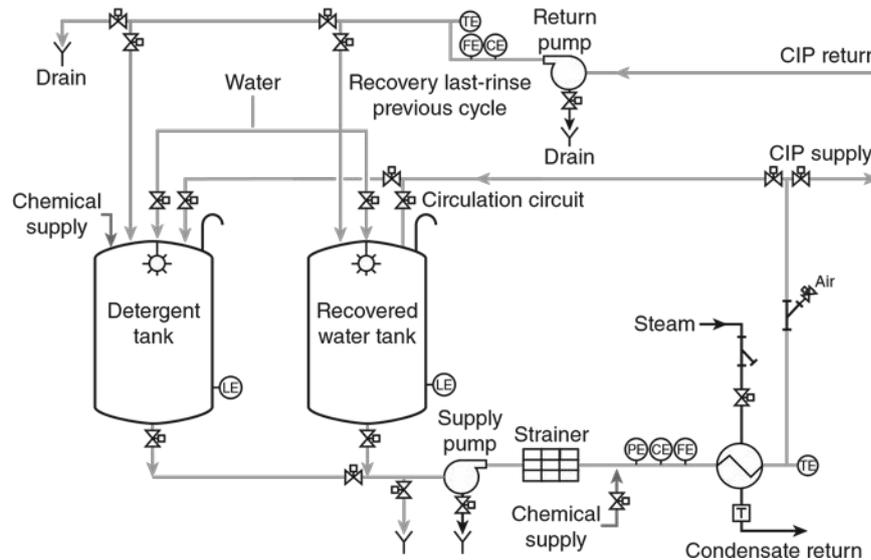


Ilustración 14: Sistema CIP de empleo no recuperable

5.6.4. Sistema CIP de empleo repetido

Un sistema CIP de reutilización, típico, ilustración 15, consta de un depósito de sosa cáustica, un depósito de ácido, un depósito de recuperación de agua (por ejemplo, para recuperar el último aclarado de un ciclo de limpieza anterior, que se reutiliza como agua de prelavado en el ciclo siguiente), un depósito que contiene el agua para el aclarado final y en ocasiones, un depósito de desinfectante. Todos los tanques están interconectados por tuberías, provistas de válvulas y colector con bombas de alimentación y retorno CIP. Desde los tanques, las bombas dosificadoras alimentan cantidades exactas de productos químicos concentrados de limpieza o desinfección, directamente a los tanques alimentados por agua.

Para las grandes estaciones CIP, cada tanque (tanques de sosa cáustica, ácido, desinfectante y agua) está equipado con su propio bucle de preparación. El contenido de cada uno de los tanques CIP se mezcla por recirculación sobre el tanque CIP correspondiente a través de la bomba de suministro/recirculación



CIP. Debido a que la conductividad es proporcional a la concentración de detergente, los sensores de conductividad se pueden utilizar para comprobar y controlar la conductividad y mantener la resistencia de las soluciones de limpieza. El circuito de recirculación también está equipado con un intercambiador de calor de placas o tubos para calentar las soluciones y mantenerlas a la temperatura deseada. Alternativamente, se puede aplicar calefacción dentro del tanque a través de una camisa o serpentín de calefacción, o inyección directa de vapor en el tanque o en el circuito de preparación. Si se utiliza un intercambiador de calor externo, el suministro de vapor es controlado por la señal de temperatura del sensor de temperatura situado en el circuito de recirculación sobre el tanque de detergente CIP ácido o cáustico apropiado.

La recirculación continúa hasta que la solución de limpieza tenga la resistencia química y la temperatura adecuadas para iniciar el proceso CIP.

Cuando la solución está lista, la válvula de recirculación del tanque CIP se cierra y la válvula de suministro CIP se abre, permitiendo que la solución de limpieza fluya hacia la línea de suministro CIP. La línea de suministro CIP está conectada a la tubería que necesita ser limpiada y a los dispositivos de pulverización ubicados en un recipiente u otras piezas del equipo de proceso.

Las soluciones de limpieza pueden devolverse al sistema CIP ya sea por gravedad, si es factible, o por medio de una bomba de retorno CIP de baja velocidad. La línea de retorno CIP puede tener un punto de muestreo para que el proceso de limpieza pueda ser validado (Seiberling, 1997; Christi, 1999).

Al regresar al sistema CIP, la solución puede guardarse en uno de los tanques CIP o desviarse hacia el desagüe. Los sistemas CIP de reutilización generalmente están programados para 'desechar' una pequeña parte de la solución al final de cada ciclo de limpieza con el fin de eliminar continuamente la solución sucia del sistema. Luego se agrega agua fresca para llenar el tanque de solución al nivel normal de operación. Si el equipo de proceso pasa por una etapa de limpieza cáustica, la solución de detergente no se contamina tan rápidamente y puede ser reutilizada muchas veces. La separación y el reciclaje de las soluciones se rige por un sensor de conductividad que se instala al final de cada línea de retorno CIP en la instalación. Cuando este sensor detecta que la conductividad de una solución es superior a un valor objetivo predeterminado, la solución CIP se devuelve al depósito de detergente correspondiente. La solución de limpieza es expulsada por el agua en el siguiente enjuague, de modo que la señal de conductividad disminuye y cae por debajo de un valor preestablecido. A su vez, esto activa una válvula de

cambio para que el agua de enjuague se dirija hacia el desagüe en lugar de ir al depósito de detergente. Una vez que se ha alcanzado un valor mínimo predeterminado de conductividad, que indica la eliminación completa de ácido, sosa cáustica o desinfectante del sistema, se detiene el enjuague intermedio o final. Por lo general, toda la secuencia CIP está automatizada, lo que permite que el sistema CIP se detenga regularmente en pasos específicos.

El consumo de agua en un sistema de reutilización puede optimizarse aún más proporcionando una instalación de recirculación para el agua caliente. Además, la unidad puede ser equipada con tanques de neutralización para neutralizar las soluciones alcalinas y/o ácidas antes de desecharlas en el sistema de efluvo. La capacidad de los tanques será determinada por el volumen del circuito, los requisitos de temperatura y el resultado de limpieza deseado.

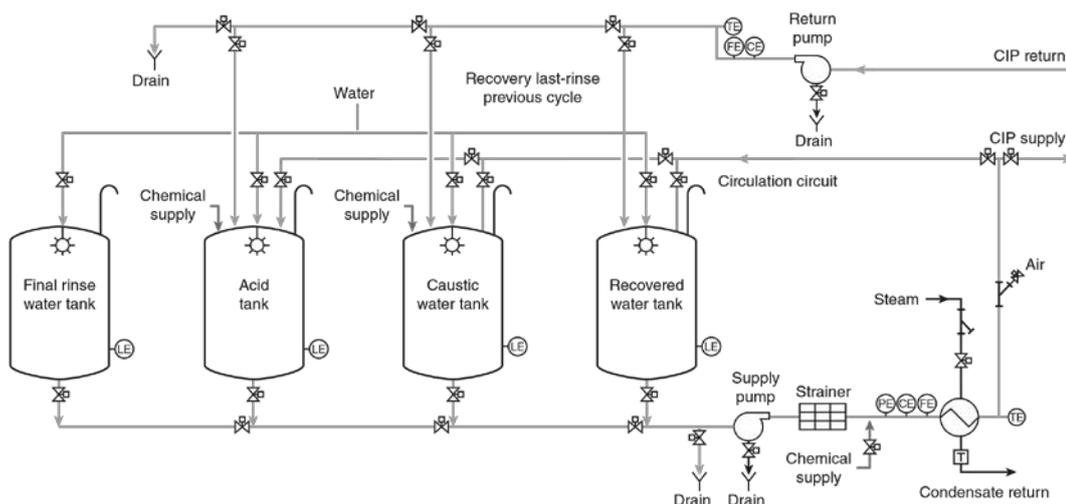


Ilustración 15: Sistema CIP de empleo repetido

Un sistema CIP de reutilización ideal tendría la capacidad de llenar, vaciar, recircular, calentar y dispensar el contenido automáticamente.

Los sistemas de reutilización son más complejos que los sistemas de un solo uso, lo que hace que los costes de inversión adicionales sean más elevados. Sin embargo, el período de amortización es corto debido al ahorro de agua, productos químicos para detergentes y energía utilizada.

5.7. Centralización o descentralización del sistema CIP



El tamaño de la planta de proceso y otros criterios como la rentabilidad y la seguridad alimentaria determinan cuál de los tres tipos de sistemas CIP puede utilizarse (F.A. Majoor, 2003)

5.7.1. Estación CIP centralizada.

Un sistema CIP centralizado se utiliza normalmente en plantas pequeñas donde la distancia entre la estación CIP y el equipo a limpiar es relativamente corta. Los incidentes registrados con productos acabados que se encontraron contaminados, hicieron que los fabricantes de alimentos dejaran de limpiar todas las líneas de proceso en diferentes áreas de la fábrica de alimentos con la misma estación CIP. Se demostró que era mejor separar al menos la limpieza del lado crudo y el lado procesado de la planta, ya que la mezcla de ambos aumentaba el riesgo de re contaminación de cualquier alimento acabado que se sometiera a una nueva etapa de descontaminación. Esto se logró utilizando una unidad CIP centralizada con sus correspondientes estaciones CIP satélites o un sistema de estaciones CIP descentralizadas. El mayor inconveniente de las estaciones CIP centralizadas es el gasto. Las soluciones de limpieza y las aguas de enjuague deben transportarse a largas distancias, por lo que las pérdidas de calor son más probables y se requieren mayores volúmenes de agua y detergentes químicos. Una ventaja es que sólo se necesita un controlador lógico programable (PLC), que controla la limpieza in situ de todos los equipos en la fábrica de alimentos. Los productos químicos de soluciones de limpieza y desinfección, sólo se almacenan o preparan en un lugar, lo cual es beneficioso para la seguridad del operador, ya que se necesita menos espacio porque no hay tanques, bombas, válvulas, etc. adicionales en otras áreas de proceso en las que puedan comprometer la higiene en la sala de proceso.

5.7.2. Unidad CIP centralizada con varias estaciones CIP satélites

En este sistema, las soluciones de detergente alcalinas y ácidas se almacenan en una estación central, que distribuye estas soluciones de limpieza a unidades CIP satélite individuales, ilustración 16. Sin embargo, el suministro y el calentamiento de las aguas de enjuague se realizan localmente en las estaciones satélite. Estas estaciones funcionan según el principio de que las diferentes etapas del programa de limpieza se llevan a cabo con un volumen mínimo de líquido cuidadosamente medido, suficiente para llenar el circuito a limpiar. Una potente bomba de circulación fuerza la solución de detergente a través del circuito a una alta tasa de flujo. A diferencia de la práctica más común de reciclaje de detergentes utilizada en los sistemas centralizados, las estaciones satélite CIP más pequeñas, que utilizan las soluciones de limpieza

en volúmenes más pequeños, sólo lo hacen una vez. Este uso 'de una sola vez', funciona sobre la base de que la composición de la solución de detergente puede ser optimizada para un determinado circuito. Esta solución se considera entonces “gastada” después de un uso, aunque, en algunos casos, puede utilizarse para el prelavado en un ciclo posterior.

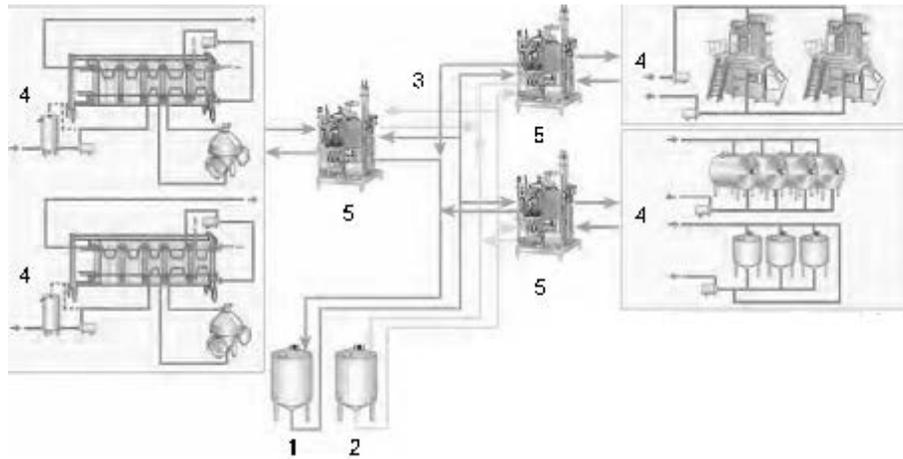


Ilustración 16: Unidad CIP centralizada con varias estaciones CIP satélite

En la ilustración 16, se puede observar, en 1 y 2 los tanques de almacenamiento alcalino y ácido, en 3 las tuberías de alimentación y retorno de CIP, en 4 los equipos a limpiar y en 5 las unidades CIP satélite.

5.7.3. Sistema descentralizado de estaciones CIP más pequeñas.

En este concepto, la estación principal se sustituye por varias estaciones CIP pequeñas, cada una de las cuales limpia equipos de proceso específicos o grupos de estaciones CIP en un sector determinado de la fábrica de alimentos. Para ello, cada estación CIP separada se encuentra adyacente a la línea o líneas de proceso correspondientes. Las estaciones CIP descentralizadas, punto 6 de la ilustración 17, se recomiendan para grandes plantas de proceso en las que la distancia entre una estación CIP situada en el centro y los circuitos CIP periféricos sea extremadamente grande. Este concepto permite transportar soluciones y agua de enjuague a través de trayectorias de tuberías mucho más pequeñas, reduciendo las pérdidas de calor y el volumen de agua necesario para llenar todo el sistema de tuberías. Este sistema también tiene las mismas ventajas que las estaciones CIP por satélite mencionadas anteriormente. Sin embargo, los principales inconvenientes de las unidades CIP descentralizadas

son que requieren que los tanques de detergente estén en el área de producción y que necesiten un PLC en cada estación CIP.

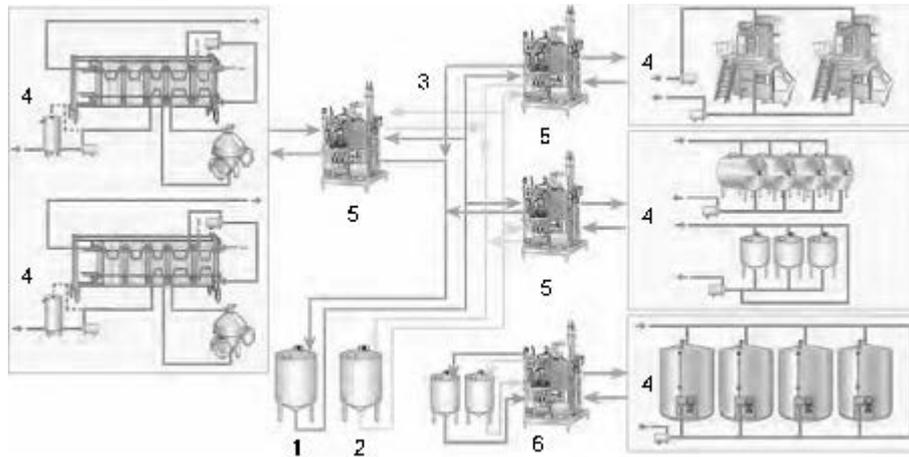


Ilustración 17: Unidad CIP donde 6 es un sistema CIP descentralizado

5.8. Dispositivos de limpieza

Varios aspectos que deben tenerse en cuenta en la selección del dispositivo de limpieza de tanques más apropiado para la limpieza de un recipiente o tanque de proceso determinado (F. Moerman and I. Leroy, 2002)

- Determinar el impacto de limpieza requerido
- Condiciones de aplicación
- Temperatura durante la producción y condiciones de lavado
- Dimensiones del tanque
- Forma y posición del depósito
- Estructura interna del tanque (bobinas, placas deflectoras, agitadores, conexiones de flujo y puerto)
- Corrosividad de la solución de limpieza
- Temperatura de la solución de limpieza
- Tiempo de limpieza disponible
- Presión de pulverización requerida en comparación con la presión de la bomba disponible
- El consumo de agua a la vista
- Potencia de autolimpieza de la boquilla de limpieza del tanque
- Robustez y desgaste
- Facilidad de aplicación y mantenimiento
- Consumo de energía
- Estanqueidad a las bacterias



- Tiempo de amortización

5.8.1. Dispositivos estacionarios de pulverización

Los dispositivos estacionarios de limpieza, ilustración 17, son dispositivos de pulverización estática que pulverizan la solución de limpieza en un patrón estático sobre las superficies interiores de un recipiente, equipo o tanque (a menudo la parte superior del tanque). El resultado de la limpieza depende más de la acción química, del efecto de la temperatura y de la duración del proceso de limpieza que de la acción mecánica. La acción mecánica para aflojar y disolver los residuos es proporcionada por la dispersión asistida por gravedad y la cascada de los medios de limpieza en las partes inferiores del recipiente, equipo o tanque.

La película en caída libre está sólo ligeramente por encima del flujo laminar ($1000 < Re < 2000$), y el esfuerzo cortante de la pared es del orden de 2-3 Pa a 60 °C. Algunas áreas predefinidas pueden requerir más limpieza mecánica..

- Bolas de pulverización estáticas

Las bolas rociadoras estáticas, ilustración 18, son dispositivos rociadores esféricos de pared delgada (1 mm) o de pared gruesa (2-6 mm), no giratorios, disponibles en varios materiales, cubiertos con orificios que producen muchos rociadores de chorro semisólidos pequeños. Las bolas pulverizadoras son los dispositivos de limpieza de recipientes más utilizados. Sin embargo, ellos mismos tienen un poder de limpieza casi nulo y sólo proporcionan una cobertura directa parcial de la superficie del tanque con el fluido.

Se instalará en cualquier posición y producirá un patrón de pulverización de 360°, 270° (hacia arriba o hacia abajo), 180° (hacia arriba o hacia abajo) o 90° (hacia arriba). Esto es suficiente para ejercer un efecto de enjuague suficiente para eliminar los residuos solubles antiadherentes de las superficies interiores de pequeños recipientes con un diámetro máximo de 4-6 m, o de tanques sin estructuras internas tales como agitadores, placas deflectoras, tubos de inmersión o dispositivos de calentamiento. Para limpiar tanques con un diámetro mayor, se necesitan tasas de flujo más altas para asegurar que la película de caída libre turbulenta cubra la pared del tanque. A estas velocidades, la velocidad con la que el líquido es expulsado a través de los orificios de las bolas rociadoras estáticas conduce a la dispersión por chorro o por aspersion. Sin embargo, la dispersión puede ser suprimida usando bolas de rocío estáticas de paredes gruesas donde cada agujero perforado a través

de la pared gruesa es virtualmente un tubo de boquilla, de modo que las corrientes de flujo viajan mucho más lejos de lo normal antes de romperse.

La desventaja es que las bolas pulverizadoras pueden actuar como filtro y atrapar los residuos. Por lo tanto, se requiere la prefiltración de soluciones de limpieza recicladas. También se deben inspeccionar regularmente los orificios para detectar obstrucciones, y se debe prever un orificio de drenaje para el autodrenaje.

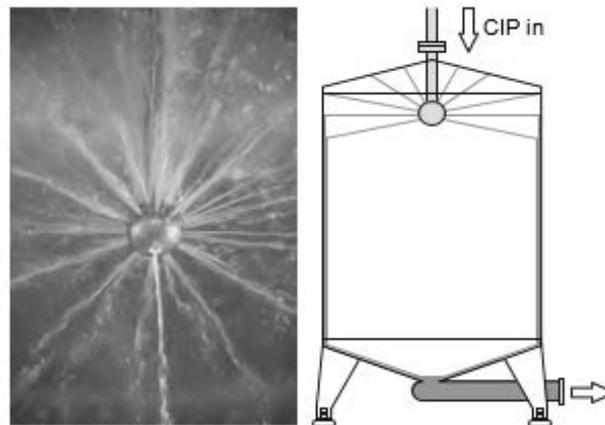


Ilustración 18: Dispositivos de limpieza estacionarios

- Rociadores de burbujas y de tubos curvados

Los dispositivos rociadores de burbujas, ilustración 19, son hemisferios huecos con pequeños orificios que permiten que la solución limpiadora pase a través de ellos bajo presión. A través de los orificios perforados direccionalmente, se pulverizan los patrones de pulverización en las superficies del equipo. Los dispositivos de pulverización de burbujas se utilizan en tanques, equipos y conductos, donde el dispositivo de pulverización debe colocarse de manera que no pueda entrar en contacto con el producto alimenticio. Se utilizan accesorios especiales para insertar rociadores de burbujas de aire en una línea o en un equipo. Alternativamente, dependiendo de la distancia que necesiten para propulsar la solución limpiadora, sólo pueden extenderse 1,25-2 cm dentro del recipiente o la tubería. El número de boquillas del cabezal del tanque puede ser limitado. En un recipiente con una sola boquilla del cabezal del tanque tipo abrazadera, los brazos de burbujas, ilustración 20, o los tubos en T pueden permitir la colocación estratégica de múltiples burbujas de pulverización para dirigir los patrones de pulverización individuales en diferentes direcciones. Se utilizan en una variedad de aplicaciones, tales como alcanzar áreas de difícil

acceso. Es más difícil eliminar todos los escombros que en las bolas de pulverización extraíbles (Seiberling, 1997; Franks y Seiberling, 2008).

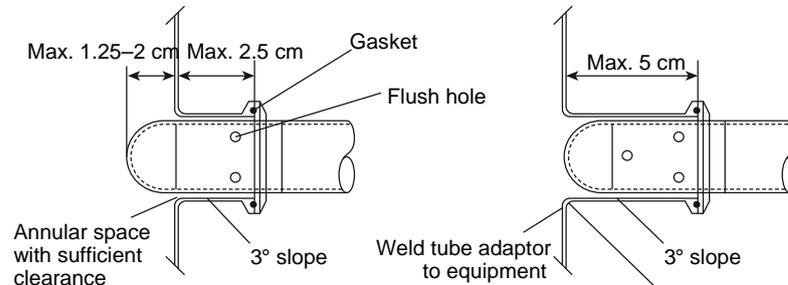


Ilustración 19: Dispositivo de pulverización de burbujas

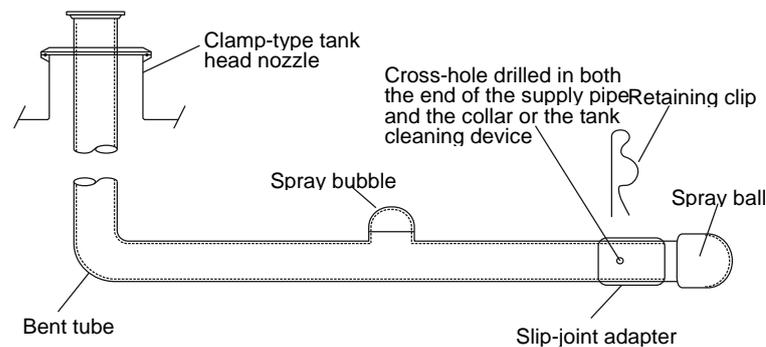


Ilustración 20: Dispositivo de pulverización de tubo curvado

- Dispositivo de pulverización estacionaria en grupo

Un dispositivo de pulverización estacionario racimo, ilustración 21, es un conjunto no esférico de pulverización multiboquilla, hecho de politetrafluoroetileno (PTFE), cloruro de polivinilo (PVC), difluoruro de polivinilideno (PVDF), acero inoxidable o aleación. El dispositivo está provisto de boquillas atornilladas fácilmente extraíbles, o simplemente contiene agujeros taladrados con la pared gruesa del cuerpo. Debido a la ausencia de boquillas roscadas atornilladas y a la ausencia de esquinas afiladas, este último tipo de boquillas es el más higiénico y adecuado para la industria alimentaria. El antiguo dispositivo de pulverización, con boquillas atornilladas, no debe utilizarse en la industria alimentaria, a menos que se retire después de limpiar el depósito. Los dispositivos de pulverización se utilizan para eliminar (ligeramente) los residuos solubles antiadherentes en las superficies interiores de los tanques pequeños con una simple acción de enjuague. Estos se instalan

en una tubería de suministro, en la parte superior, inferior o en la pared lateral del recipiente, equipo o tanque mediante una conexión roscada y producen un patrón de aspersión de 180° (hacia abajo o hacia arriba), $\leq 270^\circ$ (hacia abajo o hacia arriba) o 360° . Varios de estos dispositivos de pulverización en racimo pueden instalarse a varias profundidades de tanque en el mismo tipo de suministro, uno debajo del otro (Moerman y Leroy, 2002).



Ilustración 21: Dispositivo de pulverización estacionaria en racimo

5.8.2. Dispositivos rotativos de pulverización

Los dispositivos de rociado rotativo, ilustración 22, son dispositivos de limpieza accionados por flujo (u ocasionalmente por motor). Consisten en un disco giratorio o en una bola o anillo con orificios, puertos o ranuras perforados que giran alrededor de un solo eje. El flujo se concentra en un pequeño número de pulverizaciones que tienen una alta velocidad radial, lo que resulta en un mayor impacto en el área donde los ventiladores o las gotas golpean la pared del tanque. El ventilador giratorio optimiza la distribución del flujo de limpieza al asegurar que todas las superficies interiores del tanque dentro del patrón de impacto estén completamente cubiertas. El aumento de la turbulencia en la película líquida que corre por las paredes causa un mayor esfuerzo de cizallamiento de la pared que ayuda a aflojar aún más los residuos. Por lo tanto, la acción mecánica viene dada tanto por el mayor impacto del fluido de limpieza que golpea la pared como por el flujo de baja a media turbulencia ($2100 < Re < 6000$) asistido por gravedad de la solución de limpieza en la superficie. Al igual que las bolas de pulverización descritas anteriormente, los dispositivos de pulverización rotativos pueden actuar como filtros. Por lo tanto, es necesaria la prefiltración de soluciones de limpieza recicladas para eliminar los residuos atrapados (Franks and Seiberling, 2008).

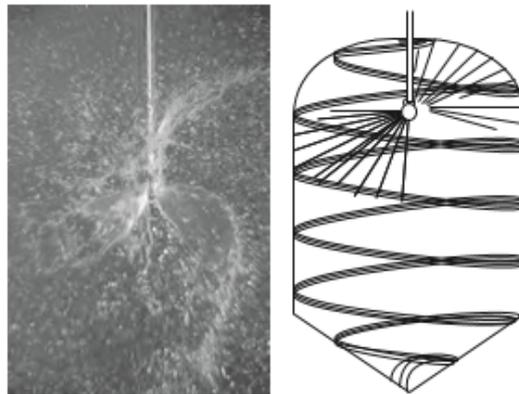


Ilustración 22: Dispositivos de rociado rotativo

- Dispositivos de pulverización rotativa de giro libre

Las bolas pulverizadoras, las arandelas y los hilanderos que giran libremente son impulsados por la fuerza reaccionaria. Los chorros de agua, dejando el orificio de la boquilla como un spray, generan las fuerzas reaccionarias necesarias para producir y mantener aún más el movimiento rotativo. Las arandelas de disco, sin embargo, son causadas a rotar por el impacto de la solución de limpieza en un disco. Los dispositivos de rociado rotativo de giro libre, ilustración 23, suelen rodar sobre rodamientos de rodillos de acero inoxidable, ya que éstos promueven un rápido giro. Las bolas rociadoras giratorias se pueden fijar en cualquier posición dentro de un recipiente, equipo o tanque.



Ilustración 23: Dispositivos de limpieza por fuerza reaccionaria

En la ilustración 24, la imagen (a) corresponde a un anillo de plástico sólido con múltiples agujeros perforados que giran sobre una película de líquido delgado alrededor de un cuerpo estático de plástico o acero inoxidable. La imagen (b) es un dispositivo de pulverización rotatoria rasurada de giro libre.

- Dispositivos de pulverización rotativos de giro controlado.

Estos son dispositivos de limpieza de tanques impulsados por el impulso que tienen un mecanismo de reducción de velocidad incorporado. Cuando la presión aumenta más allá de la crítica, esto suprime la velocidad de rotación de la pieza giratoria. Por lo general, esta categoría de dispositivos de rociado rotativo tiene cojinetes de plástico (PTFE o PEEK) combinados con otros componentes de acero. Estos rodamientos normalmente pueden limitar la velocidad de rotación, al menos hasta que empiecen a desgastarse y aflojarse.



Ilustración 24: Bolas de pulverización rotatorias controladas

En la ilustración 25, las imágenes a y b corresponden a bolas de pulverización rotatorias controladas rotacionales, mientras que la imagen c es una varilla de pulverización rotatoria.

5.8.3. Dispositivos de chorro rotativo

Los dispositivos de chorro rotativo son dispositivos de limpieza de tanques de aire o motorizados. Giran alrededor de su eje vertical (cuerpo) y horizontal (las boquillas), al tiempo que producen chorros de agua sólida sincronizados en un patrón de rociado hermético y minucioso sobre las estructuras internas y las superficies interiores de un recipiente, equipo o tanque, ilustración 25. La solución de limpieza golpea con suficiente fuerza mecánica para eliminar los residuos resistentes de las superficies interiores del tanque y explota hacia afuera con una fuerza directamente proporcional a la fuerza inicial

suministrada. Típicamente, a 60 °C, la tensión de cizallamiento de la pared menor a 1000 Pa a una distancia de menos de 5 cm del punto de impacto. Las zonas protegidas con respecto al dispositivo de limpieza se pueden fregar con chorros de agua. Por último, la acción mecánica de la película líquida descendente altamente turbulenta asistida por gravedad ($30\ 000 < Re < 70\ 000$) proporciona una limpieza adicional. Los dispositivos de chorro rotativo proporcionan una limpieza de alto impacto (normalmente con una cobertura de 360°) en tanques con volúmenes que van de 15 a 1250 m³. Algunos dispositivos de chorro rotativo están diseñados para proporcionar sólo una limpieza de impacto direccional de 180° hacia arriba o hacia abajo. Un patrón de pulverización de 180° hacia abajo es apropiado para la limpieza de las paredes laterales, el fondo o las estructuras internas de depósitos, equipos o tanques de superficie abierta.

Como muchos otros dispositivos de limpieza de tanques, los dispositivos de chorro rotativo deben ser montados rígidamente en una tubería de suministro vertical hacia arriba o hacia abajo usando una abrazadera, soldadura u otra conexión..

Para evitar la obstrucción por partículas, siempre se necesita un filtro.



Ilustración 25: Dispositivos de chorro rotativo

5.9. Automatización del sistema. Instrumentación

Hoy en día, la mayoría de las estaciones CIP, incluso las más pequeñas, están automatizadas, o al menos el control de las operaciones CIP está integrado en el sistema de automatización de las máquinas de proceso separadas.

Para llevar a cabo un proceso CIP es necesario realizar un seguimiento de cientos de válvulas y operarlas en diferentes combinaciones y secuencias. El mejor método para registrar qué combinación es necesaria para un fin determinado y configurarla lo más rápidamente posible es utilizar un PLC basado en un microprocesador. Todos los transmisores (tales como medidores

de flujo y sensores de conductividad) y todos los objetos controlados en el proceso CIP están conectados al PLC, de modo que toda la información necesaria sobre temperaturas, flujos, presiones, posiciones de válvulas, etc. , puede ser introducida en el sistema de control. El PLC procesa estas señales de entrada y envía órdenes en un orden determinado para poner en marcha o apagar los distintos objetos de control (bombas, válvulas y motores) que intervienen en el proceso CIP controlado, de modo que se cumplan las condiciones adecuadas para el proceso CIP. Los componentes controlados envían señales que confirman que se han llevado a cabo los comandos. Estas señales de captación al PLC son necesarias para realizar el siguiente paso de la secuencia.

Cada PLC tiene sus propias áreas de proceso que controlar. Sin embargo, se pueden interconectar varios PLCs para comunicarse entre sí a través de una red. Para coordinar el proceso y los PLC, se conecta una interfaz hombre-máquina (un PC o una pantalla táctil) con el PLC para que los operadores puedan gestionar las condiciones CIP, incluidos todos los parámetros clave. Además, se puede incluir un sistema de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) para registrar y procesar datos que proporcionan la entrada para informes, análisis, estadísticas y mensajes de diagnóstico. Cada ciclo CIP que se ejecuta, se registra para que sea totalmente trazable, incluso meses más tarde. (Rizoulières et al., 2009).

Es más seguro, en general, el funcionamiento automático, en el que la limpieza se realiza según un programa predeterminado.

En la actualidad, todavía no es posible decidir sobre la interrupción o la continuación de la limpieza mediante control continuado del resultado de esta. En cambio, controlando el tiempo y volumen, pueden ahorrarse agua y medio limpiador midiendo la calidad de los líquidos de retorno. En el caso más sencillo, se comparan la turbiedad o conductibilidad del retorno con un valor tomado como patrón de referencia, y los líquidos limpiadores se corrigen en consonancia. Este procedimiento exige, sin embargo, determinar empíricamente valores umbrales y contar con una calidad constante de alimento, agua y medio limpiador. Bastante independiente de esto es la regulación conseguida midiendo la diferencia de calidad entre dos puntos: antes y después de la limpieza. De esta manera se consigue una separación de fases bastante exacta entre:

- El producto residual a introducir en un recipiente determinado y el agua de enjuagado previo a extraer hasta la conducción.
- La solución limpiadora muy ensuciada y por ello a excluir, y la que se puede almacenar.



- Agua de postenjuagado, que ya contiene porciones de alimento subsiguiente, y producto utilizable.

5.10. Control de aguas, soluciones de limpieza y equipos limpiados. Auto limpieza del sistema CIP.

Periódicamente, en los sistemas CIP de reutilización, se debe comprobar visualmente la calidad de las aguas de enjuague y de las soluciones almacenadas en los tanques. Las soluciones y las aguas de enjuague de los tanques deberán ser objeto de muestreo periódico para controlar su calidad microbiológica y determinar la concentración de materia orgánica y minerales presentes.

Si las soluciones de limpieza se concentran demasiado en la suciedad, se deben verter y preparar nuevas soluciones de limpieza. Hoy en día, los contaminantes de las soluciones de limpieza usadas se pueden eliminar con la tecnología de membranas. Los tanques y los intercambiadores de calor deberán inspeccionarse con frecuencia para detectar la presencia de depósitos minerales/orgánicos, y limpiarse si es necesario. Para ello, el diseño y la automatización de la estación CIP deben permitir la autolimpieza de sus tanques, tuberías, válvulas e instrumentación (por ejemplo, los tanques de la estación CIP deben estar equipados con sus propias bolas pulverizadoras). Ciertas válvulas son necesarias para realizar esta operación de autolimpieza automáticamente en una secuencia predeterminada. Los tanques de la estación CIP pueden limpiarse con soluciones de limpieza almacenadas temporalmente en estos tanques. A continuación, las soluciones se devuelven al depósito anterior o se transfieren al depósito siguiente.

5.11. Validación del proceso

En el sistema CIP, como en cualquier otro sistema implantado en la industria alimentaria, las acciones y procesos deben de estar bien documentados, registrados y debidamente archivados.

Todos los equipos CIP, deberán tener un diseño y construcción que pueda garantizar su funcionamiento eficaz. Para esto, se requiere:

- Una validación que pueda confirmar que el diseño y funcionamiento del sistema son correctos.
- Un esquema actualizado de la disposición del sistema CIP.



- Una evaluación del riesgo de contaminación cruzada, en el caso de recuperación y reutilización de soluciones de lavado.

Si se realizase algún cambio o mejora al sistema CIP, estos, deberán ser previamente autorizados por una persona formada en este ámbito y se mantendrá un registro de dichos cambios realizado. El sistema CIP se revalidará, después de cualquier cambio o mejora, a intervalos establecidos en función del riesgo.

También, han de definirse límites de desempeño aceptable e inaceptable de parámetros de proceso, con el objetivo de garantizar la eliminación de los peligros previstos, como suciedad, alérgenos, microorganismos o esporas. Estos parámetros, son, entre otros:

- Tiempos de cada etapa.
- Concentración de los detergentes.
- Caudal y presión.
- Temperaturas.

Estos parámetros, también han de validarse y, por consiguiente, llevarse a cabo un registro de dicha validación.

El auditor, interno y externo, es el encargado de solicitar toda esta documentación, y ver los registros de limpieza de un día o lote concreto.

5.12. Ventajas y desventajas de este sistema

Frente a las limpiezas manuales un sistema de limpieza CIP, bien sea automático o semiautomático representa un buen número de ventajas, las cuales podrían ser:

- Aumento de la calidad de los productos.
- Se garantiza un control repetitivo de los parámetros más importantes como son temperatura de lavado, caudal y presión constante, concentración de productos químicos y tiempos de lavado.
- Se evita que el operario tenga que manipular de forma manual productos peligrosos ya que la dosificación de los mismos se realiza de forma automática. Esto además garantiza que las concentraciones de productos químicos a las que se debe limpiar sean las adecuadas.
- Se controla y optimiza el consumo de agua ya que los tiempos de lavado de cada fase se regulan de forma automática.



- Se puede disponer de trazabilidad de cada limpieza para conocer el desarrollo de cada fase de lavado y las incidencias ocurridas durante la misma.
- Se optimizan los consumos energéticos.
- Adecuado para limpiar una amplia selección de equipos de proceso.
- Se pueden desarrollar Unidades CIP modulares, de forma que se pueda incrementar el grado de automatización en función de la inversión prevista.
- Disminución de los riesgos de contaminación de los alimentos.
- Disminución de los tiempos de limpieza (reducción del ciclo de limpieza en un 10%) y por ende de los tiempos de paro de los equipos.
- Disminución de los costos de limpieza debido al menor consumo de líquidos limpiantes y personal. Los sistemas automatizados tienen el potencial de reducir los costes de los productos químicos de los detergentes en un 15-20%.
- Disminución de los efectos ambientales de la descarga de químicos.

También presenta algunas desventajas como:

- Alto costo de capital.
- No apto para eliminar residuos pesados insolubles.
- Inflexibilidad. Los sistemas CIP estacionarios sólo permiten la limpieza de equipos de procesos adyacentes. Las unidades CIP móviles permiten una mayor flexibilidad, ya que pueden cubrir equipos de proceso en un área mayor.
- Mayor mantenimiento. Al tratarse de un equipo más sofisticado que cualquier limpieza manual, requiere más mantenimiento.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



CAPÍTULO 6. DISEÑO DEL SISTEMA CIP

En este capítulo, a partir de las especificaciones de CIP detalladas, se realiza la aplicación industrial concreta para una fábrica de quesos.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



El dimensionamiento de los componentes del sistema CIP tiene directa relación con los equipos que se deseen lavar. En el caso del dimensionamiento de los tanques, se calcula de acuerdo con el circuito de lavado, teniendo en cuenta todos los elementos intermedios, más una reserva de 50% como mínimo.

Debemos tener en cuenta que es necesario diseñar la instalación de limpieza CIP en función del tipo de producto a limpiar, de la simultaneidad de limpiezas con el fin de optimizar tiempos de producción...En función de una serie de parámetros se determinará la tipología de depósitos necesarios, volumen de los mismos, número de líneas de impulsión y retorno...

A la hora de diseñar e instalar este sistema de limpieza CIP es esencial disponer de un diagrama completo y actualizado de todos los sistemas, y comprobar que no haya posibilidad de contaminación cruzada entre la leche cruda y las conducciones de la leche tratada térmicamente y de los productos finales, ni durante la limpieza in situ, ni durante el proceso de elaboración.

6.1. Condiciones de diseño de la línea del sistema CIP

Una planta procesadora que desee utilizar un sistema de limpieza CIP debe reunir ciertas condiciones especiales de diseño, para asegurar la efectividad de la limpieza y desinfección.

- Es fundamental tener sistemas separados para materias primas y productos terminados.
- Todos los equipos deberán tener una posibilidad de drenaje, ya que cualquier acumulación de agua residual o bolsillos promoverían la multiplicación de bacterias que posteriormente contaminarán el producto.
- Evitar cualquier posibilidad de contaminación cruzada entre los productos químicos y los productos alimenticios. Se recomienda instalar válvulas de doble asiento para asegurar que no exista posibilidad de contaminación entre CIP y proceso.
- El proceso de limpieza CIP no considera la intervención manual, por lo que su control debe ser estricto para evitar contaminación.
- Todos los materiales que conforman la tubería y los equipos de proceso, como acero inoxidable, plásticos y elastómeros, no deberán transmitir ningún olor o sabor al producto. Deberán ser también resistentes a las soluciones de limpieza y a sus temperaturas.



- Los equipos como bombas, intercambiadores y válvulas requieren ser diseñados para aplicaciones de CIP, es decir con cero puntos muertos, permitiendo que no existan sitios sin limpieza o con acumulación.
- Las líneas y equipos que se someten al proceso de limpieza serán de superficies internas lisas sin fondos ciegos y resistentes a los agentes químicos y térmicos.
- Las tuberías de los circuitos serán todas del mismo diámetro para que no se produzcan fluctuaciones en las velocidades de flujo de las soluciones de limpieza.
- Todas las superficies en contacto con el alimento (leche y queso) deberán ser incluidas en el circuito de limpieza.
- Los puntos de mayor riesgo para que en ellos se acumule suciedad deben ser fácilmente accesibles y, siempre que sea necesario, podrán desmontarse en sus diversas partes.

Las partes de las instalaciones no aptas para la CIP, deben reconocerse como tales y tratarse aparte.

Otro detalle a tener en cuenta a la hora de diseñar un sistema CIP es la posibilidad de añadir autodrenaje a los conductos de alimentación y retorno del sistema. En la industria alimentaria, es norma general que los productos se transporten a través de tuberías de proceso que estén libres de callejones sin salida y con una pendiente descendente de 1m por cada 129 m en dirección al flujo, con el fin de evitar que se formen “charcos” de productos alimenticios líquidos.

6.2. Tipo de sistema CIP empleado y componentes del mismo

Según las especificaciones acerca del tipo de CIP requerido en una industria quesera, se podría determinar que el más adecuado, sería un sistema de empleo repetido con reutilización de las soluciones químicas empleadas para economizar en el gasto empleado en estas.

Respecto a la centralización de estos sistemas CIP, y, para evitar la contaminación cruzada, se debe separar la limpieza de equipos que transportan la leche cruda hasta el pasteurizador, y el producto pasteurizado. Esto se consigue con una unidad CIP centralizada con dos estaciones CIP satélites, cada una de ellas encargada de limpiar y desinfectar los equipos implicados en cada una de las dos fases del proceso mencionadas



anteriormente. Así, los tanques con los productos limpiadores y desinfectantes estarían apartados de la instalación a limpiar, y en cambio, las estaciones, cada cual, cerca de los equipos de los que eliminará la suciedad.

Estos sistemas centralizados conllevan el inconveniente de las pérdidas de calor y el mayor requerimiento de volúmenes de agua y detergentes químicos, por tener que transportarse el agua y las soluciones de limpieza. Las estaciones CIP, al utilizar las soluciones de limpieza en volúmenes más pequeños, también tienen el inconveniente de reciclar solo una vez las soluciones de limpieza, aunque en algunos casos, puede utilizarse para el prelavado en un ciclo posterior.

Lo ventajoso de este sistema, es el menor coste de inversión que un descentralizado, por necesitarse únicamente un controlador lógico programable (PLC) que controla la limpieza de todos los equipos en la fábrica.

Respecto a la seguridad del operador, este tipo de instalación, también es más conveniente, por el hecho de almacenar y utilizar los productos químicos de detergente en un único lugar.

Este sistema se emplea en la instalación considerada de industria quesera, para limpiar el depósito de refrigeración de almacenamiento de leche, depósito de suero, las cubas, la lavadora de moldes, la higienizadora, el pasteurizador y las tuberías del proceso.

6.2.1. Equipos y dispositivos del sistema CIP diseñado

Consta de cinco tanques aislados de iguales dimensiones, cuyas características son:

- Depósito para agua recuperada del enjuague alcalino para el inicio del prelavado. Ni va aislado ni lleva sistemas de calentamiento. Sólo entrada y salida del producto. Estos tanques permiten que los queseros recuperen las costosas soluciones químicas utilizadas en el proceso de limpieza.
- Depósito para agua limpia, para la continuación del prelavado y para los enjuagues alcalino y ácido. Como en el tanque de agua recuperada, este tampoco va aislado ni lleva sistemas de calentamiento integrados.
- Depósito para la solución alcalina. Va perfectamente aislado en todas sus partes. El sistema de calentamiento es indirecto, por recirculación a través de un intercambiador de calor. El depósito lleva entrada, salida, termómetro, drenajes y válvulas de alivio de presión.



- Depósito para la solución ácida. Igual que el anterior.
- Depósito para la solución desinfectante de. Igual que el anterior.

También contiene otros dispositivos como:

- Valvulería e interconexiones.
- Filtros para evitar obstrucciones de flujo en bomba o depósitos.
- Bombas de impulsión centrífuga (para aumentar velocidad de flujo). Las bombas han de tener una potencia que garantice una corriente turbulenta o la necesaria presión de lavado, de acuerdo con la temperatura y longitud de las conducciones.
- Bombas de retorno, para impulsar las soluciones una vez utilizadas de vuelta a sus tanques o al desagüe.
- Intercambiadores de calor de carcasa y tubos para calentar las corrientes de suministro antes de llegar a los equipos a limpiar.

Todos los tanques utilizados en este sistema CIP serán verticales, por tener capacidades inferiores o iguales a 1 m³.

Todo el material que utilizaremos para el diseño los equipos y tuberías de este proyecto, es de acero inoxidable AISI 304 y AISI 316.

6.3. Dispositivos de limpieza empleados

Como estamos ante un diseño de sistema CIP para una empresa de fabricación de quesos a mediana escala, donde los tanques de almacenamiento de las soluciones limpiadoras y agua, que también serán limpiados con estos dispositivos, serán de aproximadamente 1m³, y los recipientes de la instalación a limpiar no será de más de 45 m³ (máximo para utilizar este tipo de dispositivos) sería suficiente utilizar el sistema más básico de limpieza, siendo este, estacionario de pulverización, en concreto se emplearán las bolas de pulverización estáticas.

Las bolas rociadoras estáticas, los difusores rotativos y los difusores de chorro rotativo se utilizan comúnmente en el tanque de almacenamiento de refrigeración CIP debido a su gran superficie interna. El tamaño de la bola rociadora (que puede oscilar entre 0.5" y 2.5"), el volumen de la solución y la presión se calculan en función del tamaño del tanque donde vaya a ser instalada. (Packman et al. , 2008).

Las bolas rociadoras estáticas, ilustración 26, son dispositivos rociadores esféricos de pared delgada (1 mm) o de pared gruesa (2-6 mm). No giran y pueden ser de diferentes materiales. Están cubiertos con orificios que, por la velocidad con la que el líquido es expulsado a través de ellos, conduce a la dispersión por chorro o aspersion. Estas bolas pulverizadoras son el tipo de dispositivo de limpieza más empleado, a pesar de que solo proporcionan una cobertura directa en la superficie del tanque con el fluido.

Se aplican en recipientes más bien pequeños, de menos de 4 metros de diámetro, ya que dan cobertura de humedecimiento de hasta 6 metros de diámetro, pero, sin embargo, su correcta limpieza se ejecuta en depósitos de hasta 4 metros. Su presión de operación oscila entre 1 y 2.2 bar y el caudal dispersado entre 0.01 y 1.4 m³/min.

Pueden instalarse en cualquier posición y su patrón de pulverización es de 360°, 180° (arriba y abajo) o 90° (arriba). Esto es suficiente para ejercer un efecto de enjuague para eliminar residuos solubles antiadherentes.

La principal desventaja de este dispositivo, es la posible actuación de las bolas como filtro, en cuyo caso atraparía residuos y podría obstruirse. Por lo tanto, se requiere prefiltración de las soluciones de limpieza recicladas y se aconseja inspeccionar regularmente los orificios para detectar esas obstrucciones de las que se hablaba anteriormente.

El material con el que están fabricadas estas bolas es acero inoxidable 304 con un tratamiento superficial de espejo pulido (otra posibilidad es la de pulido mate). Se conecta mediante roscado (otras posibilidades son; abrazadera, soldadura, clip atornillada).



Ilustración 26: Bola de pulverización estática



6.4. Productos de limpieza y desinfección empleados en el sistema de limpieza CIP diseñado

- Detergente alcalino

El hidróxido de sodio (NaOH), también conocido como sosa caústica, con PH de 13.5, tiene un gran poder de hidrolización y peptización sobre la grasa y proteínas. Para esta instalación concreta este detergente alcalino, es quien disuelve las proteínas y elimina las grasas adheridas en el sistema, haciéndola más soluble, y formando, por tanto, suspensiones de residuos más uniformes en la solución de lavado, con la solución en concentración al 2% y a temperatura elevada de 80°C durante media hora.

A esta solución alcalina se le añaden inhibidores de la corrosión para el acero inoxidable. Estos aditivos son polisilicatos, carbohidratos modificados y fosfonatos.

Los productos alcalinos para circuitos, contienen tensioactivos para mejorar el poder de limpieza y controlar la espuma producida en la operación, dado el impacto negativo que esta tiene en la eficacia de la limpieza y el tiempo empleado en el enjuague del equipo sin detergente.

También es conveniente añadir secuestrantes como ácido etilendiaminotetracético (EDTA), el ácido nitrilotriacético (NTA) y el gluconato que suprimen el impacto negativo de la dureza del agua.

- Detergente ácido

Se emplean para eliminar los depósitos minerales en el equipo. Las soluciones de limpieza con 1% de ácido nítrico (HNO_3) que tiene un PH de 1, pueden eliminar residuos inorgánicos como piedra de leche. Se utilizan para limpiar y desmineralizar intercambiadores de calor entre otros equipos. Debido a sus propiedades oxidantes, a mayores concentraciones, no puede utilizarse con tensioactivos.

A este ácido elegido, se le pueden añadir otros aditivos como;

- Tensioactivos no iónicos que aumentan la eficacia de la limpieza en suelos orgánicos, eliminan residuos de grasas y mejoran las propiedades de eliminación de incrustaciones.
- Ácidos fosfónicos como inhibidores de corrosión, que se añaden para evitar que el acero inoxidable se corra.



- Sustancias hidrotróficas que pueden estabilizar las formulaciones líquidas a altas o bajas temperaturas.
- Surfactantes hidrofóbicos que actúan como antiespumantes.

Ambos detergentes se utilizan para reducir la tensión superficial de la solución de lavado y el contacto con los residuos de la leche de mejor manera posible.

- Desinfectante

El objetivo de la desinfección es reducir el número de microorganismos que deterioran los alimentos y de los patógenos que pueden estar presentes en los equipos de proceso después de la limpieza.

El compuesto elegido para este proceso es el Hipoclorito de sodio (NaClO) con un PH de alrededor de 11. El cloro es un efectivo germicida y es el más económico de los desinfectantes. Su desventaja es que se inactiva a altas temperaturas y tiempos prolongados de preparación.

El hipoclorito de Sodio en disolución acuosa, ecuación 2, comúnmente conocido como lejía, solo es estable en PH básico y se descompone lentamente originando Na, cloruros y radicales hidroxilos. Cuya actividad oxidante reduce los microorganismos que se multiplican en los residuos de leche y no llegaron a ser removidos por la limpieza.



Ecuación 2: Disolución del hipoclorito de sodio

6.4.1. Evaluaciones de las soluciones y agua de limpieza

- Concentración: La medición de la concentración es el requisito más importante en la efectividad de la limpieza.
- Medición del pH: La medición del pH puede ser un método eficaz y rápido para evaluar la calidad y concentración de líquidos. Sin embargo, este método puede dar falsos resultados si el líquido se contamina, es decir, el valor del pH y la concentración no siempre coinciden. Por consiguiente, se recomienda usar un conductímetro para determinar la concentración de los líquidos de limpieza.



- Conductividad: Muchas unidades de limpieza están equipadas con un conductímetro, un instrumento microprocesador usado en procesos industriales para la medición y regulación en línea de la conductividad. La conductividad se calcula a partir de la intensidad de la corriente que fluye a través del fluido a medir a un voltaje de referencia conocido. La señal se convierte en información digital y luego se procesa según los valores de temperatura y de calibración. Como la temperatura tiene una gran influencia sobre los valores de conductividad, es indispensable que el conductímetro tenga una compensación automática de temperatura.
- Calidad del agua de limpieza: En lo que respecta al CIP, los parámetros más importantes son pH, contenido de cloro y dureza.

6.5. Secuencia de operaciones y frecuencia

Como indicamos en el apartado 5.4 de este proyecto, las operaciones que sigue el programa CIP son las siguientes:

- Pre enjuague que utiliza una fuente de agua potable fresca, limpia y a temperatura ambiente (25°C) o reutiliza el agua del lavado intermedio o final. Esta operación dura de 3 a 10 minutos y finaliza cuando se agota el efluvo. En el caso concreto de este trabajo orientado a una industria quesera, en esta fase se produce la eliminación de restos de leche o producto mediante enjuague con agua (frío caliente).
- Lavado alcalino, se calienta el agua de enjuague o fresca (80°C) y se añade la sosa con sus correspondientes aditivos. Se hace circular la disolución durante 30 minutos. En este paso debe recircularse la solución de limpieza para economizar la operación. Para la instalación de la que hablamos en este trabajo, en esta fase es en la que se produce la eliminación de las grasas adheridas en el sistema, así como la proteína de la leche, los suelos orgánicos y los carbohidratos restantes.
- Enjuague intermedio con agua potable, caliente o a temperatura ambiente para eliminar la suciedad residual disuelta y la solución alcalina y evitar, así, la neutralización del siguiente lavado ácido y la suciedad residual disuelta. Puede aplicarse una vez o recircularse.
- La solución de limpieza ácida utiliza el enjuague residual del paso anterior, a una concentración baja. Las temperaturas de la solución

oscilan entre los 50 y 70°C y se emplea para eliminar los minerales. Los tiempos de limpieza de 3 a 30 min. La solución ácida suele requerir un tiempo de lavado relativamente más corto, que el ciclo de lavado alcalino.

- Segundo enjuague intermedio con agua fría para eliminar los restos de ácido y la suciedad adicional persistente del lavado ácido. Este enjuague puede ser recirculado
- Desinfección química para reducir el número de microorganismos en las superficies previamente limpiadas. En la desinfección química, se utiliza agua dulce a temperatura ambiente, con el desinfectante elegido, hipoclorito de sodio.
- Enjuague final con agua estéril por haber realizado la desinfección química.
- Secado. Una vez finalizado el ciclo de enjuague, los equipos implicados pueden purgarse con aire estéril caliente o a temperatura ambiente para ayudar así, a secar el equipo.

Para el tanque de enfriamiento de almacenamiento de leche, el CIP usualmente sigue una secuencia de operaciones como se muestra en la tabla 6, según DAMEROW,1983 y KESSLER 1976, incluyendo un ciclo de preenjuague tibio, un ciclo de lavado con detergente alcalino caliente y un ciclo de enjuague en frío. En este tanque, al ser una superficie fría bastaría con ejecutar la limpieza ácida una vez por semana, y no diariamente como se hace con la limpieza alcalina.

<i>Etapa de trabajo</i>	<i>Líquido</i>	<i>Frecuencia/ duración</i>	<i>Temp. °C</i>	<i>Concen. %</i>
Prelimpieza	Agua	3 × 20 s	40-60	-
Limpieza	Alcalino	10-12 min	65-75	2,5
Enjuag. interm.	Agua	2 × 40 s	fría	-
Limpieza	Ácido	3-10 min	65-75	1
Postenjuagado	Agua	5-10 min	65-75	-
Esterilización	Vapor	20 min	130-150	-

Mecánica: Lavado a presión, limpieza previa y limpieza intermedia, a intervalos, con pausas de unos 40 segundos.
Dosificación proporcional cuantitativa de la concentración del medio limpiador.

Tabla 6: Secuencia de operaciones para la limpieza de un tanque de refrigeración

En el caso de un sistema CIP empleado en un calentador de placas, utilizado en la pasteurización de la leche, se seguiría la secuencia de operaciones que se muestra en la tabla de la ilustración 27, donde, como ácido se emplea ácido nítrico y como sustancia alcalina se emplea hidróxido de sodio, también conocido como lejía de sosa.

Limpieza calentador

min	5		5 7.5		32.5 35		45		53 55 58 67	
	Enjua. previo	Ácido	Enj. intermedio	Lejía	Enj. intermedio	Ácido	Enjuag. final 90°C (70°C)	Drenaje	Purgado	Desague
Aporte agua										
Lejía										
Ácido										
Temperatura 70°C										
Temperatura 90°C										
Bomba presión limpieza										
Bomba retorno limpieza										
Impulso drenaje										
Impulso desagüe										
Final limpieza										
Tiempo limpieza, min	25	25	0	25	5	25	0	8	2	3
Etapas núm.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 11 12

Ilustración 27: Secuencia de operaciones para pasteurizador de leche

Por lo general, los fabricantes de queso, ejecutan el sistema CIP para limpiar las superficies de los equipos y las líneas de tuberías, al menos una vez al día, o después de completar un lote de producción.

6.6. Cálculos. Dimensionado del sistema.

6.6.1. Tuberías

Para dimensionar las tuberías de esta instalación, en primer lugar, habría que tomar los datos de caudal, densidad y viscosidad del fluido que va a circular por el interior y la temperatura del mismo.

En primer lugar, se calcularía el diámetro interno con la ecuación 3:

$$D_{int.} (m) = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot u}}$$

Ecuación 3: Diámetro interior tubería



Para lo cual necesitaríamos la velocidad con la que va a circular el fluido, que en caso de líquidos que circulan por conductos, oscila entre 1 y 3 m/s.

Una vez calculado el diámetro interior, y sabiendo que el diámetro exterior se calcula mediante la ecuación 4:

$$D_o = D_{int.} + 2 \cdot t$$

Ecuación 4: Diámetro exterior tubería

Introducimos esta, en la ecuación 5 del cálculo de espesor de una tubería para obtener, así, el diámetro exterior de la tubería y el espesor mínimo de la misma.

$$t = \left(\frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot E} + C \right) \cdot M$$

Ecuación 5: Espesor de tubería

Donde:

P; Presión interna de diseño (psig).

Do; Diámetro externo de la tubería (in).

E; Eficiencia de la soldadura. Tomaremos un valor de 0,8 por ser tuberías con soldadura, dado que así serán más económicas.

M; Tolerancia de fabricación (sobredimensión= 12,5%).

C; Sobreepesor por corrosión. Tomamos un valor típico (3mm).

S; Tensión máxima admisible del material a la temperatura de diseño (lb/in²). Obtenido del código ASME B31.3. Tomando el valor correspondiente a tuberías de acero inoxidable de grado 304.

Finalmente, procedemos a calcular la pérdida de carga, para lo que impondremos una longitud de tubería en función de los requerimientos de la instalación y utilizamos la ecuación 6.

$$-\Delta P = h_f \cdot \rho \cdot g$$

Ecuación 6: Pérdida de carga en tubería

Donde h_f está en metros del fluido y es la pérdida de carga por fricción. La calculamos con la ecuación 7.

$$hf = 8 \cdot \Phi \cdot \frac{L \cdot U^2}{D_{int} \cdot 2 \cdot g}$$

Ecuación 7: Pérdida de carga por fricción

Donde:

Φ ; Factor de fricción.

L; longitud de la tubería (m).

D_{int} ; Diámetro interno (m).

u; velocidad con la que circula el fluido (m/s).

g; aceleración de la gravedad (m/s²)

El factor de fricción, lo calculamos mediante el diagrama de Moody, ilustración 28, entrando con la relación entre la rugosidad del material y el diámetro, y con el Reynolds.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D_{int}}{\mu}$$

Ecuación 8: Número de Reynolds

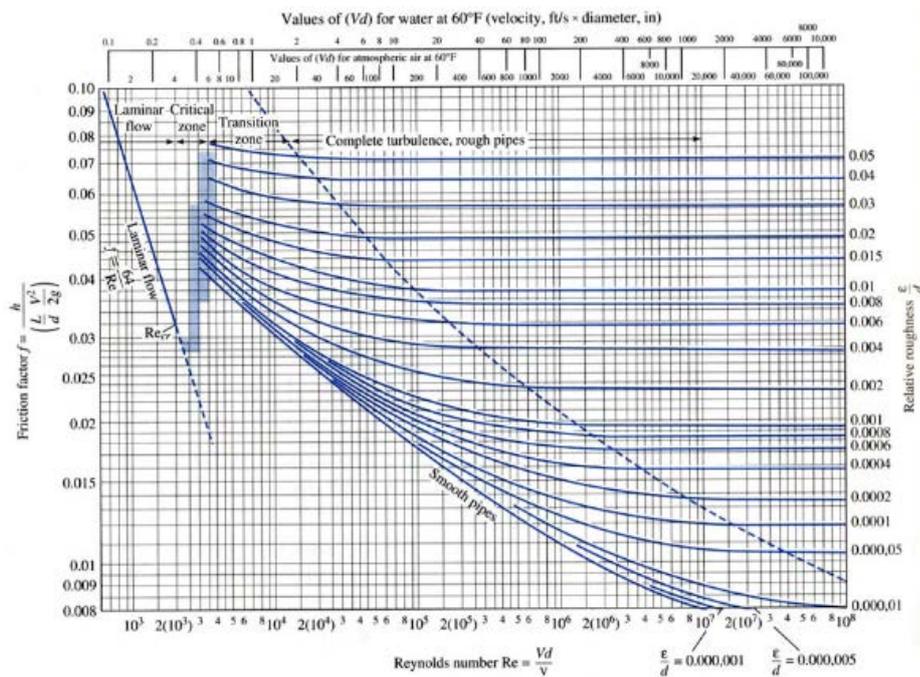


Ilustración 28: Diagrama de Moody

6.6.2. Bombas

Para poder realizar el diseño de la bomba, es necesario realizar un balance entre dos puntos, uno que se encuentre en la aspiración y otro que se encuentre en la impulsión, ecuación 9.

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{u_1^2}{2 \cdot g} + z_1 + h_p = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{u_2^2}{2 \cdot g} + z_2 + h_{f\ 1-2}$$

Ecuación 9: Balance entre dos puntos para el diseño de la bomba

En la realización del balance tenemos en cuenta que la altura del tanque y la del reactor son las mismas, $z_1=z_2$. La velocidad se calcula con la ecuación 10.

$$u = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D^2}$$

Ecuación 10: Velocidad del fluido a través de la bomba

Para el cálculo de las pérdidas de carga por fricción, se realizan las pérdidas en cada tubería y posteriormente se suman. El cálculo se realiza con la ecuación 11.

$$h_f = (8 \cdot \phi \cdot \frac{L}{D_{in}} + k) \cdot \frac{u^2}{2 \cdot g}$$

Ecuación 11: Pérdida de carga por fricción

El coeficiente ϕ se obtiene mediante el diagrama de Moody, ilustración 27. La k , es la pérdida de carga característica de cada elemento.

Con estas consideraciones ya podemos calcular la altura de la bomba, ecuación 12, mediante la realización del balance.

$$h_p = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{u_2^2}{2 \cdot g} - \frac{u_1^2}{2 \cdot g} + h_{f\ 1-2}$$

Ecuación 12: Altura de la bomba

La potencia desarrollada por la bomba viene dada por la ecuación 13:



$$P(W) = G \cdot g \cdot h$$

Ecuación 13: Potencia de la bomba

Donde G es el gasto o flujo másico que circula por la bomba.

Por último, calculamos la velocidad específica de la bomba, N_s , con la ecuación 14.

$$N_s = \frac{N \cdot Q^{1/2}}{h^{3/4}}$$

Ecuación 14: Velocidad específica de la bomba

Donde:

Q; caudal que circula por la bomba en gal USA/min.

h; altura de la bomba en pies.

N; velocidad de giro de la bomba en revoluciones por minuto.

La N no se puede especificar hasta que no se elija un tipo de bomba comercial ya que depende del fabricante.

6.6.3. Tanques

Partiendo de un volumen de tanque conocido, el diámetro se hallaría, conociendo la altura o, al menos, una relación entre ambos.

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot L \rightarrow V = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \frac{L}{D} \cdot D$$

Ecuación 15: Volumen de tanque

Tomamos una relación $\frac{L}{D} = 2$ debido a que no tenemos un tanque de grandes dimensiones y que estará posicionado en vertical. Podemos proceder a hallar dicho diámetro del tanque con la ecuación 16.

$$D = \sqrt[3]{\frac{V \cdot 4}{\pi \cdot (\frac{L}{D})}}$$

Ecuación 16: Diámetro de tanque



Con el diámetro, y la relación L/D, podemos obtener la altura real del tanque.

$$H = \frac{L}{D} \cdot D$$

Ecuación 17: Altura de tanque

6.6.4. Intercambiador de calor

En primer lugar, hay que detallar las propiedades de las corrientes de entrada y salida al cambiador por los tubos.

Se han de detallar también las propiedades y flujos de la corriente que circula por carcasa y se utiliza como servicio auxiliar para el calentamiento de la corriente anterior.

Para el diseño del intercambiador se ha seguido el capítulo 12 del Vol.VI (Coulson Richardson´s, 3era edición). Lo primero para el diseño, es la realización del balance energético para calcular el calor transferido. El calor transferido al fluido que circula por el interior de los tubos, tiene que ser igual al calor transferido por la carcasa. Se desprecian las pérdidas de calor. El balance se realiza con la ecuación 18.

$$q = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_e - T_s)$$

Ecuación 18: Calor transferido

Donde:

\dot{m} : Flujo másico de la corriente.

C_p : Calor específico.

T_e : Temperatura de entrada.

T_s : Temperatura de salida.

De este modo se obtiene el flujo másico de agua de calentamiento necesario.

Para comprobar que el diseño es correcto, primero supondremos un coeficiente de transferencia global, y con dicho coeficiente calcularemos el diseño, recalculando al final el coeficiente global nuevamente. El diseño será correcto cuando el recalculado sea mayor que el supuesto.

Calculamos el incremento de temperatura medio logarítmico con la ecuación 19.



$$\Delta T_{ln} = \frac{(T_{Te} - T_{Cs}) - (T_{Ts} - T_{Ce})}{\ln \frac{(T_{Te} - T_{Cs})}{(T_{Ts} - T_{Ce})}}$$

Ecuación 19: Incremento de temperatura medio logarítmico

Donde las temperaturas con subíndice T pertenecen al fluido que circula por los tubos y las de subíndice C a las del fluido que circula por la carcasa.

El intercambiador dispone únicamente de un paso por los tubos y uno por la carcasa de modo que no es necesario realizar una corrección de dicho valor de la temperatura.

Con el incremento medio de temperatura y el valor del coeficiente global de transferencia de calor calculamos el área del intercambiador con la ecuación 20.

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_{ln} \rightarrow A = \frac{q}{U \cdot \Delta T_{ln}}$$

Ecuación 20: Área del intercambiador

Una vez tenemos calculada el área elegimos la distribución de los tubos. Los diámetros de los tubos están normalizados.

Con estas características y el área total del intercambiador podemos calcular el número de tubos que se pueden incluir en el intercambiador con la ecuación 21.

$$N_T = \frac{A}{\pi \cdot d_0 \cdot L}$$

Ecuación 21: Número de tubos

A continuación, calculamos la velocidad por el interior de los tubos, con la ecuación 22. Tenemos sólo un paso por tubo como ya se ha citado anteriormente:

$$u \left(\frac{m}{s} \right) = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot 4 \cdot \pi \cdot d_i^2 \cdot N_T}$$

Ecuación 22: Velocidad por el interior de los tubos



La distribución de los tubos es “a tresbolillo” de manera que el paso de tubo será el siguiente:

$$P_t = 1,25 \cdot d_0$$

Ecuación 23: Paso de tubo

Para el diseño de la carcasa, es necesario calcular el diámetro de bancada que viene dado por una estimación que depende de constantes dependientes de la distribución de los tubos.

La estimación del diámetro de la bancada es la siguiente:

$$D_b = d_0 \cdot \left(\frac{k_1}{N_t}\right)^{\frac{1}{n_1}}$$

Ecuación 24: Diámetro de la bancada

Para la definición del diámetro interno (D_s) de la carcasa es necesario la selección de un parámetro que depende del diámetro de la bancada y que será sumado a éste para dar el diámetro.

Determinamos el área tangencial con la ecuación 25.

$$A_s = \frac{D_s \cdot l_B \cdot (P_t - d_0)}{P_t}$$

Ecuación 25: Área transversal

Donde “ l_B ” es un parámetro que calculamos a continuación.

$$l_B = 0,3 \cdot D_s$$

La densidad de flujo másico la calculamos con la ecuación 26.

$$G'_s = \frac{\dot{m}}{A_s} = \left(\frac{Kg}{s \cdot m^2}\right)$$

Ecuación 26: Densidad de flujo másico

Por último, calculamos la velocidad del fluido por la carcasa con la ecuación 27.



$$u_s = \frac{G'_s}{\rho} = \left(\frac{m}{s}\right)$$

Ecuación 27: Velocidad del fluido por la carcasa

6.7. Instrumentación para controlar el sistema CIP

La instrumentación por la que se ha optado en el diseño de este sistema, plasmada en los planos: A3_P&ID_100_01, A3_P&ID_100_02 y A3_P&ID_100_03, es la siguiente.

En primer lugar, esta instalación, está comandada por un controlador lógico programable (PLC), el cual centralizada las acciones llevadas a cabo por el sistema principal y las dos estaciones CIP.

Esta instalación consta de siete tanques, todos ellos con controladores LG, transmisores LT y sondas de nivel máxima y mínima LCI(H-L) y con indicadores de la temperatura TI. Tres de ellos se encuentran juntos, por un lado, con las soluciones de limpieza y desinfección, acompañados de dosificadores de las soluciones correspondientes, TK-101, TK-102, TK-103. Los otros cuatro, dos de agua de red TK-104, TK-106 y otros dos de agua recuperada, TK-105, TK-107, se encuentran separados, uno de cada tipo para cada una de las dos estaciones CIP de las que dispone la instalación.

Los tanques están interconectados por tuberías con válvulas neumáticas y controladores-indicadores FCI y transmisores FT de flujo, conectados al PLC, en el que se programan las distintas secuencias del proceso.

La corriente de suministro de, sosa, ácido nítrico o hipoclorito de sodio, que sale de la primera parte de la instalación “A3_P&ID_100_01”, se envía a ambas estaciones CIP satélite, en las que se le adiciona agua a la corriente, antes de ser impulsada por la bomba P-101A/B y P-103 A/B respectivamente, para introducirse en el intercambiador de calor E-101 o E-102, según corresponda, donde el transmisor de temperatura TT y el controlador-indicador de la misma TCI, controlan el flujo que está en las condiciones caloríficas adecuadas para poder seguir la corriente de suministro y llegar a la U-200, donde proceder a limpiar los equipos correspondientes. El flujo que no tenga la temperatura adecuada, será recirculado de nuevo al sistema sobre el tanque que corresponda, para, posteriormente, pasar de nuevo por el cambiador.

La recirculación continúa hasta que la solución de limpieza tenga la temperatura adecuada para iniciar el proceso CIP.

Las soluciones de limpieza se devuelven al sistema CIP por medio de una bomba de retorno CIP P-102 y P-104, tras la cual va situado un filtro para retener impurezas y un barómetro PI para indicación de la presión.

Al regresar al sistema CIP, la solución puede guardarse en uno de los tanques CIP o desviarse hacia el desagüe.

La separación y el reciclaje de las soluciones se rige por un sensor de conductividad CCI y CT (dado que esta es proporcional a la concentración del detergente), que se instala en ambas líneas de retorno CIP. Cuando este sensor detecta que la conductividad de una solución es superior a un valor objetivo predeterminado, la solución CIP se devuelve al depósito de detergente correspondiente.

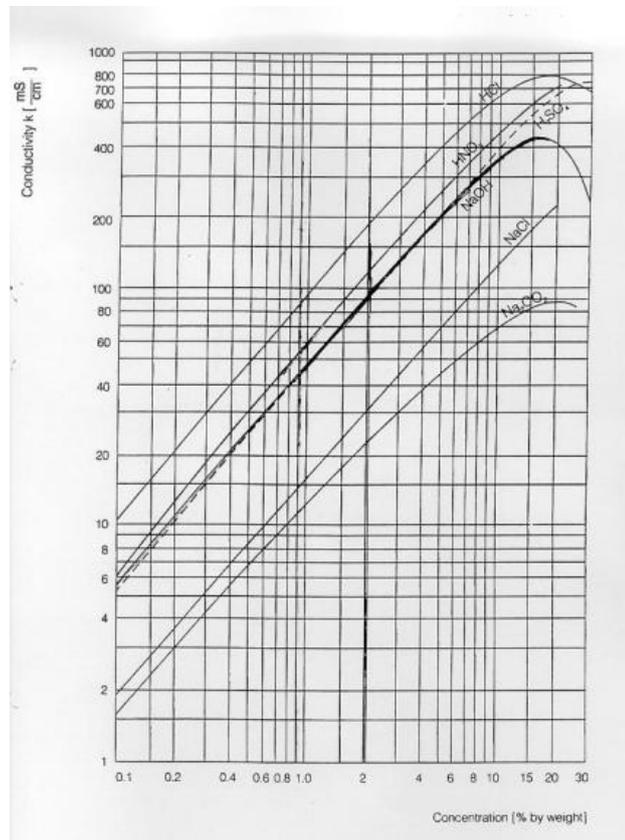


Ilustración 29: Gestión de la conductividad a 25°C

6.8. Comprobaciones de la eficacia del sistema CIP

Para comprobar la eficacia de los procedimientos de limpieza y desinfección se realizan los tres pasos siguientes;



- En primer lugar, una evaluación visual: si se observan restos de suciedad, se concluye que el programa no está funcionando adecuadamente y se debería modificar.
- Toma de muestras para análisis microbiológico de superficies mediante cultivos de bacterias Coliformes, se considera valores aceptables si se encuentran menos de una bacteria Coliforme por cada 100 cm² de superficie controlada.
- Por último, se controla el PH del agua de aclarado después de la desinfección de las instalaciones, para comprobar que no quedan restos de los productos químicos empleados en la limpieza y desinfección que pudieran contaminar los alimentos.

A menudo se toman muestras del agua de enjuagado final o del primer producto que pasa por la línea tras la limpieza. Debe verificarse la calidad bacteriológica de todos los productos en sus envases para lograr un control de calidad completo del proceso de fabricación. El programa de control de calidad completo incluye, además del ensayo de coliformes, la determinación del recuento total de microorganismos y un control organoléptico (cata) del producto.

Si hay contaminación se parará la producción y se procederá a la desinfección con agua a 80-82°C durante 10 minutos mínimo.



CAPÍTULO 7. SEGURIDAD

En este capítulo, se detallan las propiedades y peligros de los productos químicos de limpieza y desinfección empleados en el sistema CIP diseñado.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Durante la realización de la calibración del equipo se obliga al personal encargado de trabajarlo con agua y no con producto.

7.1. Hoja de datos de seguridad

Hidróxido de sodio (NaOH)

- Propiedades físicas

- Punto de ebullición: 1388°C
- Punto de fusión: 318°C
- Densidad: 2100 kg/m³
- Solubilidad en agua (g/100ml a 20°): 109 (muy elevada).

- Tipo de peligro

- Incendio
- Explosión

- Peligros por exposición humana y síntomas

- Inhalación: Tos, dolor de garganta, sensación de quemazón.
- Piel: Enrojecimiento, graves quemaduras cutáneas, ampollas.
- Ojos: Enrojecimiento, visión borrosa, quemaduras graves.
- Ingestión: Dolor abdominal, quemaduras en la boca y garganta, sensación de quemazón en garganta y pecho, náuseas, vómitos, shock o colapso.

- Límites de exposición VLA-EC: 2 mg/m³

- VLA-EC: 2 mg/m³.
- TLV: 2 mg/m³ (Valor techo).

- Prevención de riesgos

- No poner en contacto con el agua.
- No poner en contacto con materiales incompatibles.
- Utilizar traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración.



- No permitir que este producto químico se incorpore al ambiente.

Ácido nítrico (HNO₃)

- Propiedades físicas

- Punto de ebullición: 121°C
- Punto de fusión: -41.6°C
- Densidad: 1512.9 Kg/m³
- Densidad relativa de vapor (aire=1): 2.2
- Densidad relativa (agua=1): 1.4
- Solubilidad en agua: miscible
- Presión de vapor a 20°C: 6.4 KPa

- Tipo de peligro

- Incendio
- Explosión

- Peligros por exposición humana y síntomas

- Inhalación: Sensación de quemazón, tos, jadeo, dolor de garganta, dificultad respiratoria.
- Piel: Quemaduras cutáneas graves, dolor, decoloración amarilla.
- Ojos: Enrojecimiento, dolor, quemaduras.
- Ingestión: Dolor de garganta, dolor abdominal, sensación de quemazón en garganta y pecho, vómitos, shock o colapso.

- Límites de exposición

- VLA-EC: 1 ppm, 2.6 mg/m³.
- TLV: 2 ppm como TWA, 4 ppm como STEL.

- Prevención de riesgos

- No poner en contacto con sustancias inflamables.
- No poner en contacto con productos químicos combustibles u orgánicos.
- Utilizar traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración.



Hipoclorito de sodio (NaClO)

- Propiedades físicas

- Punto de ebullición: 101°C
- Punto de fusión: 18°C
- Densidad: 1110 Kg/m³
- Densidad relativa (agua=1): 1.1
- Solubilidad en agua, g/100ml a 0°C: 29.3

- Tipo de peligro

- Incendio
- Explosión

- Peligros por exposición humana y síntomas

- Inhalación: Tos, dolor de garganta.
- Piel: Enrojecimiento, dolor.
- Ojos: Enrojecimiento, dolor.
- Ingestión: Sensación de quemazón, dolor de garganta, tos, dolor abdominal, diarrea, vómitos.

- Prevención de riesgos

- No verter al alcantarillado.
- No absorber en serrín u otros absorbentes combustibles.
- Utilizar traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración.

Las hojas de seguridad de los productos de limpieza y desinfección descritos anteriormente, se encuentran en el anexo I.



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**



CAPÍTULO 8. IMPACTO AMBIENTAL

En este capítulo, a partir de los efluentes que salen del sistema CIP, se especifica su almacenamiento y recogida.



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**



8.1. Residuos de productos limpiadores

Se está intentando sustituir los actuales detergentes químicos para el lavado CIP por otros alternativos. Para reducir el impacto ambiental del uso de detergentes químicos clorados, un estudio utilizó detergentes sin cloro para el proceso CIP (Sandberg et al. , 2011). Se pudo demostrar que, en todos los niveles de temperatura (45, 55 y 65 °C), cuando se usó detergente clorado, la reducción de esporas fue significativamente mayor que la de los detergentes sin cloro. Más interesante aún, los investigadores encontraron que el rendimiento de limpieza no mejoró significativamente cuando se incrementó la temperatura de la solución de 55 °C a 65 °C, para todos los detergentes, clorados o no; las posibles razones podrían provenir de los factores ambientales controlados, que ejercen un efecto mínimo de temperatura ambiente sobre la solución de lavado durante la recirculación.

La oxidación electrolítica (EO) es otro método respetuoso con el medio ambiente que se ha investigado durante la última década en el laboratorio de la Universidad Estatal de Pensilvania. El agua EO se genera a través de la electrólisis de una solución diluida de cloruro de sodio (0,1%). Desde el ánodo de la cámara electrificada se genera agua EO ácida con cloro y clorhidrato; simultáneamente desde el cátodo se genera agua EO alcalina con hidróxido de sodio. Bajo ciertas configuraciones del generador de agua EO, el agua EO ácida tiene un pH de alrededor de 2.6 con una concentración de cloro libre de hasta 80 ppm y un alto potencial de reducción de oxidación (ORP) de alrededor de 1100 mV. El agua EO alcalina, por otro lado, tiene un valor pH de alrededor de 11.0 y un ORP de alrededor de 2800 mV (Sharma y Demirci, 2003).

8.2. Efluentes y su posterior tratamiento

La corriente con agua y soluciones de limpieza y desinfección, que se retorna de los equipos del proceso de fabricación de queso (donde se ha empleado en la limpieza de los mismos), al sistema CIP, es enviada, en parte, a los depósitos con las soluciones y agua recuperada, y, a su vez, otra parte, se desecha en el desagüe. Este desagüe mediante una tubería va a parar a un depósito, donde se almacena hasta la recogida por la planta de tratamiento de aguas residuales, quien la analiza, trata y gestiona debidamente, ya que no se podría desechos directamente por sus posibles niveles de contaminación residual.

Por otro lado, el agua residual que, puede obtenerse de los drenajes de los equipos, es gestionada de la misma manera que las aguas procedentes del desagüe.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas a raíz de la realización de este trabajo de fin de grado podrían dividirse en tres partes.

En primer lugar, el diseño realizado del sistema CIP para una industria de fabricación de queso, con las decisiones tomadas para llevarlo a cabo.

Se ha elegido un sistema CIP con reutilización, dado que a largo a plazo es el sistema más rentable, ya que se retornan las soluciones de limpieza y el agua, mientras la conductividad de las corrientes lo permite, y esto ocasiona un menor consumo de las mismas. Se ha considerado más adecuado para este tipo de industria láctea, la implementación de un sistema centralizado, pero con dos unidades CIP satélite dedicadas a la limpieza de distintas partes del proceso; una para la limpieza de los equipos en los que se trata la leche cruda y la otra para los encargados de la leche ya pasteurizada, evitando así contaminaciones cruzadas. Todo el sistema está interconectado por un controlador PLC.

Los productos de limpieza que se han considerado más adecuados aportar, para su mayor eficacia, son, como solución alcalina, el hidróxido de sodio y como solución ácida el ácido nítrico. Ambos acompañados de los aditivos correspondientes para mejorar ciertos factores de las soluciones y evitar daños del equipo. Como solución desinfectante se ha elegido hipoclorito de Sodio. Para la dispersión de estas soluciones en los tanques se han elegido las bolas de pulverización estáticas.

En segundo lugar, la viabilidad de implantación de este sistema, el cual se concluye que es viable, tanto por su gran efectividad en la limpieza y desinfección de esta industria quesera, en la que este campo implica un factor tan importante, como por la rentabilidad económica que proporciona a largo plazo.

Este sistema aporta, como se ha podido explicar, una reducción de los tiempos de lavado, reducción de riesgo de contaminaciones cruzadas, menor desgaste de los equipos, por utilizarse productos potentes pero adecuados al tipo de material de los mismos y reducción del impacto ambiental, por disminuir los volúmenes de soluciones para la limpieza.

En tercer y último lugar, la rentabilidad económica. Implantar un sistema CIP de estas características tiene un coste elevado, por lo que implica una inversión inicial alta. Sin embargo, esta inversión se recupera en poco tiempo, debido a la rentabilidad del proceso.



Esta rentabilidad abarca el ahorro de sueldos del personal encargado de la limpieza, aumento de productividad por ser mucho menor el tiempo invertido en este ámbito y por tanto mayor el invertido a generar producto, ahorro de agua, soluciones limpiadoras y desinfectantes.

Por lo tanto, entre los gastos ocasionados por la implementación del sistema CIP, se encuentran, principalmente, la inversión de compra e instalación, a lo que habría que sumar, el consumo de agua y soluciones de limpieza y desinfección, costes que ocasiona la empresa encargada de la gestión de residuos, así como gastos energéticos, de los cuales todos estos disminuyen con respecto a la limpieza manual y más en la instalación diseñada en este proceso, donde las soluciones de limpieza, desinfección y agua, se recirculan, por lo que solo ocasiona, a mayores, el coste de inversión, que aun siendo alto, se rentabiliza con el tiempo.

Por otro lado, esta instalación, a la hora de implementarlo en una empresa dedicada a la fabricación de quesos, la cual requiere unos niveles y controles de limpieza y desinfección muy elevados para no contaminar el producto final, es totalmente rentable por requerir una eficacia en este ámbito muy elevada, que la limpieza manual, además de los costes que ocasiona, no cubre totalmente, y sin embargo el sistema CIP es eficaz y beneficioso económicamente a largo plazo.



BIBLIOGRAFÍA

A. Leandro-Montes. 1970. *Detection of surfactants in liquid milk.* 1970.

2019. Clasificación de los quesos españoles. [Online] 2019.
<http://consultatodo.com/quesos/quesosClasificacion.htm>.

Conventional and Emerging Clean in Place Methods for the Milking Systems. **Xinmiao Wang, Ali Demirci, Robert E. Graves and Virendra M.Puri.** p. Chapter 5.

Coulson Richardson's. 3era edición. *Chemical Engineering.* s.l. : J., Harker, J. and Backhurs, 3era edición.

Cremmling, U. Schmidt and K. 1981. *Verfahrenstechnik der Reinigung und Desinfektion.* 1981.

D.E. Lacroix and N.P. Wong. 1980. *Determination of iodide in milk using the iodide specific ion electrode and its application to market milk samples.* 1980.

F. Moerman and I. Leroy. 2002. *Several tanks Cleaning heads for better in situ cleaning.* 2002.

F.A. Majoor. 2003. *Cleaning in place.* s.l. : Cambridge, 2003.

Fryer, M.R. Bird and. 1989. *The development and use of a simple apparatus for measuring cleaning Kinetics.* 1989.

Gerhard Wilbrett. 2015. *Limpieza y desinfección en la industria alimentaria.* s.l. : Acribia S.A., 2015.

Guthrie, R.K. 1980. *Food Sanitation.* 1980.

2019. Higiene ambiental . [Online] 2019. <https://higieneambiental.com/higiene-alimentaria/la-importancia-de-validar-los-sistemas-de-limpieza-cip-en-la-industria-alimentaria>.

2018. Indisa online. [Online] 2018.
<http://www.indisa.com/indisaonline/anteriores/Indisa%20n%20line%2035.pdf>.

J.L. Marr et al. 1988. *Umweltanalytik.* 1988.

Junta de Castilla y León . 2004. *Etapas para la implantación de Análisis de peligros y puntos de control críticos (APPCC).* 2004.

Junta de Castilla y León. 2004. *Autocontrol en industrias alimentarias.* 2004.



2018. Lechería. [Online] 2018. <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/limpieza-en-la-industria-lactea-t29004.htm>.

P.H. Rizoulières et al (2009) and D. Rohsner (2005). *Traceability of Cleaning agents and Desinfectants.*

Parlamento Europeo y consejo de la Union Europea. 2004. *Reglamentos Europeos de seguridad alimentaria.* s.l. : Relativo a la higiene de productos alimenticios, 2004. 852.

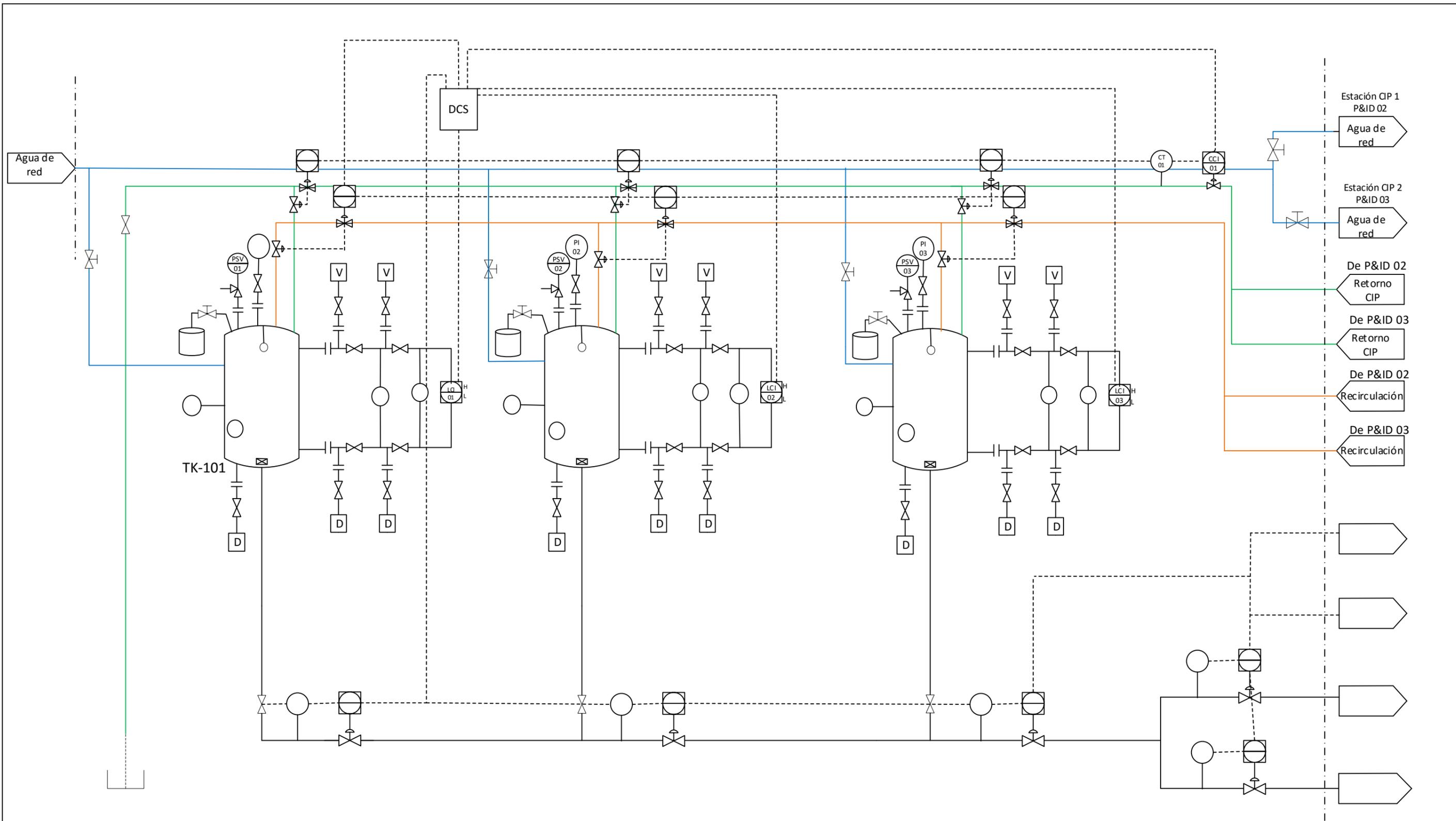
Quesos.com. [Online] <http://www.quesos.com/enciclopedia.asp?P=Fabricacion>.

2018. Sistema de limpieza CIP. [Online] 2018. <https://www.zumexfoodengineering.com/es/producto/sistema-de-limpieza-cip>.

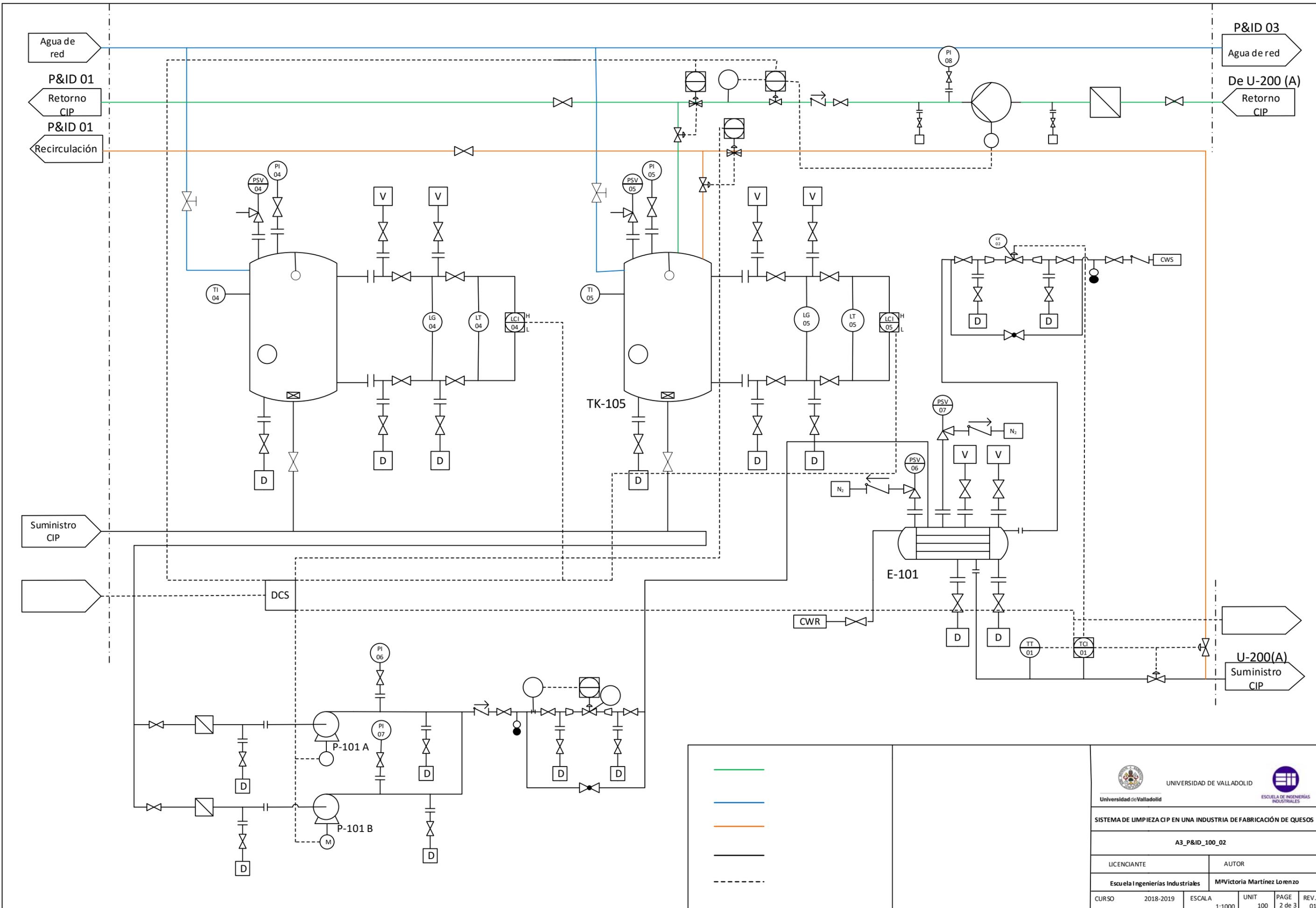
Sistema de limpieza CIP (Clean in Place). **Miguel Harutiunian.** s.l. : Edelflex S.A.

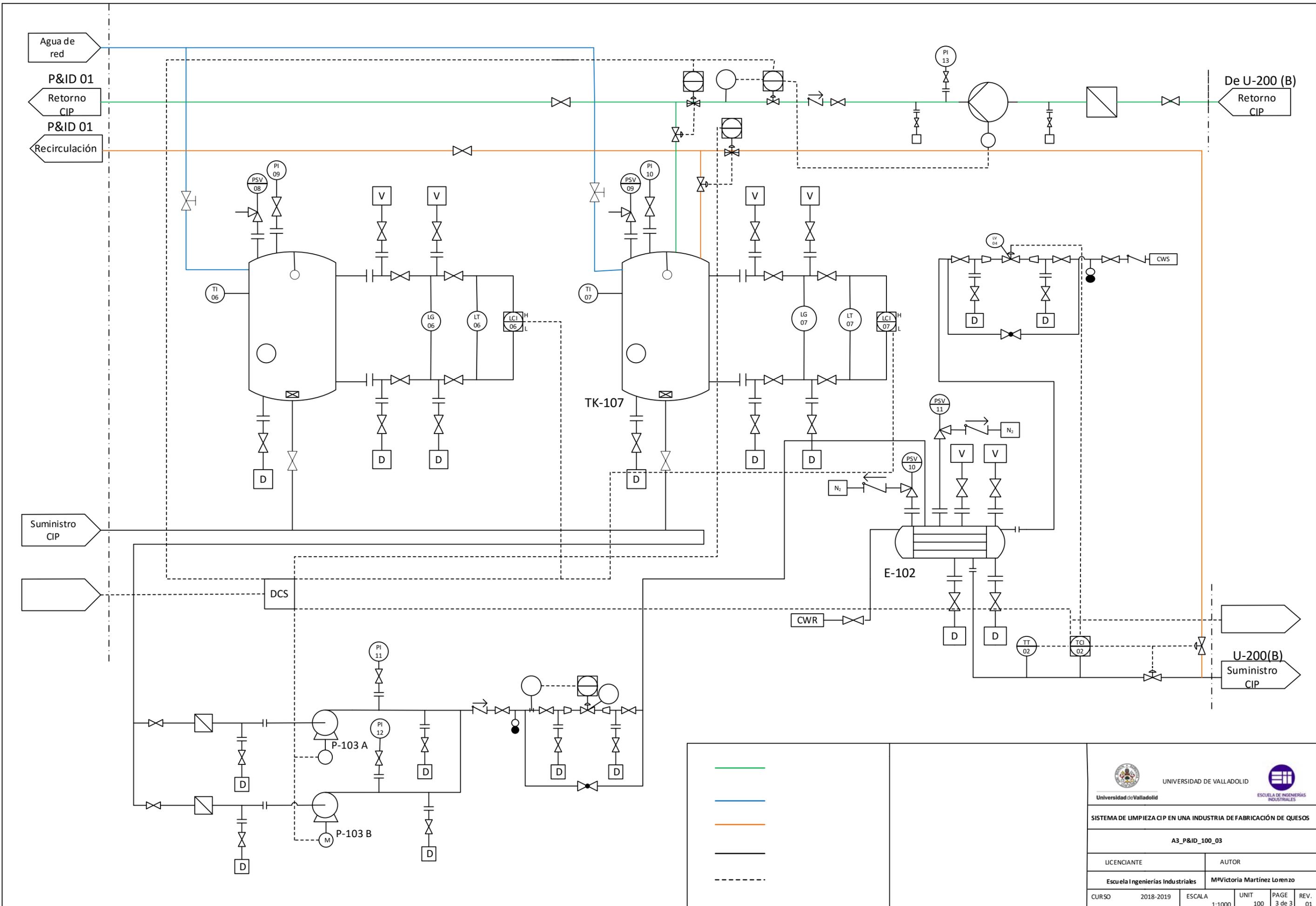
Smeulders, D. Timperley and C. 1988. *Cleaning of dairy HTST plate heat exchangers: optimization of the single-stage procedure.* s.l. : Journal of the society of Dairy Technology, 1988. Vol. 41.

PLANOS



 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	
SISTEMA DE LIMPIEZA CIP EN UNA INDUSTRIA DE FABRICACIÓN DE QUESOS	
A3_P&ID_100_01	
LICENCIANTE	AUTOR
Escuela Ingenierías Industriales	M ^a Victoria Martínez Lorenzo
CURSO 2018-2019	ESCALA 1:1000
UNIT 100	PAGE 1 de 3
REV. 01	





ANEXOS

ANEXO I: HOJAS DE SEGURIDAD

ANEXO II: CUESTIONARIOS DE AUDITORIAS

ANEXO III: LEGISLACIÓN