





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE SISTEMAS DE  
LIMPIEZA PARA LÍNEAS DE PRODUCCIÓN EN LA  
INDUSTRIA DE ALIMENTOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**BLANCA LISSETTE ESTRADA TENAZ**

ASESORADO POR: INGENIERO LUIS FERNANDO KING THEISSEN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, ABRIL DE 2007



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdéz
EXAMINADOR	Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE SISTEMAS DE LIMPIEZA PARA LÍNEAS DE PRODUCCIÓN, EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, en mayo de 2006.

Blanca Lissette Estrada Tenaz





## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **DIOS:**

Por haber derramado en mi vida innumerables bendiciones, por ser mi guía y luz en todo momento y sobre todo, porque nunca me ha dejado desfallecer ante las dificultades de la vida.

### **VIRGEN MARIA:**

Porque en los momentos difíciles consoló mi alma y me dio la fortaleza en Jesús para salir adelante.

### **MI PADRE:**

Vinicio Estrada, porque ha sido mi modelo a seguir, alguien amoroso, comprensivo e inteligente, que me ha apoyado en todo momento y siempre ha confiado en mí. Papi te dedico este triunfo que espero pueda corresponder todo el apoyo que me brindaste durante estos años.

### **MI MADRE:**

Blanca Tenaz, porque desde que colocó por primera vez un lápiz en mi mano, la sostuvo con la suya y me guió paso a paso en mis primeras letras, fue mi soporte y mi consuelo en todo momento, mami te quiero, gracias por compartir conmigo este triunfo.

**MIS HERMANOS:**

Marco Vinicio y Luis Esteban, porque siempre estuvieron a mi lado para apoyarme, espero ser la primera de tres profesionales exitosos.

**MI NOVIO:**

Carlos López, porque a pesar de lo difícil que pareciera el camino a recorrer no hubo una sola ocasión en la que no me apoyara, gracias por tu paciencia, amor y confianza. Te amo con todo mi corazón.

**MIS ABUELOS:**

Indalecio y Rosa Estrada: Abuelito Lecho, espero que desde el cielo estés compartiendo este momento tan feliz de mi vida, abuelita Rosa, gracias por tu cariño y confianza.

Policiano y Sara Tenaz: Abuelitos, para ustedes todo mi amor y gratitud, estoy segura de que al igual que mis padres ustedes han confiado en mí en todo momento, los quiero con todo mi corazón.

**MIS TÍOS**

Gracias por su apoyo, cariño incondicional y sobre todo, por estar pendientes en todo momento de mi desarrollo personal y profesional. Especialmente agradezco a mis tías Martha Julia y Lidia, por sus palabras de aliento y porque junto a mi madre han sido mis mejores amigas. Tíos y tías para ustedes todo mi cariño y admiración.

**PRIMOS Y  
SOBRINOS**

Marleny, Estuardo, Mafer, Javier, Gabriela, Carol, Iris, Fernando, Sebastián, Gustavo, Adriana, Rodrigo, Jime y Tati, los quiero con todo mi corazón.

**FAM. LÓPEZ  
BENAVENTE**

Por todo su cariño, confianza y apoyo durante todos estos años que hemos compartido.

**MIS AMIGOS**

Gracias por su apoyo y cariño incondicional.

**MI ASESORA**

Inga. Lorena Pineda, por todo su apoyo y esmero en ayudarme a alcanzar esta meta

**MI REVISOR**

Ing. Orlando Posadas Valdez, por todos los conocimientos adquiridos durante la realización de este proyecto.

**UNIVERSIDAD  
DE SAN CARLOS**

Especialmente a la Facultad de Ingeniería, por brindarme conocimientos y experiencias sin las cuales no podría haber alcanzado todas las metas que me he trazado hasta el día de hoy y las que deseo alcanzar en un futuro próximo.



# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	<b>VII</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>IX</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XI</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>XIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XV</b>
<b>1. TIPOS DE SISTEMAS DE LIMPIEZA</b>	<b>1</b>
<b>2. ETAPAS DEL SISTEMA DE LIMPIEZA</b>	<b>3</b>
2.1. Limpieza manual	3
2.1.1. Insumos	3
2.1.2. Actividades	4
2.2. Limpieza automatizada	5
2.2.1. Insumos	6
2.2.2. Actividades	6
<b>3. VARIABLES DEL PROCESO DE SANEAMIENTO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN</b>	<b>9</b>
3.1. Tiempo	9
3.2. Temperatura	9
3.3. Concentración	13
3.3.1. Solubilidad	14
3.3.2. Componentes	16

3.4.	Turbulencia	18
<b>4.</b>	<b>EQUIPOS SANITARIOS DEL SISTEMA CIP</b>	<b>21</b>
4.1.	Conceptos sanitarios para el procesamiento de líneas	21
4.2.	Detalles para la construcción del equipo	21
4.3.	Tubería sanitaria	22
4.4.	Accesorios sanitarios	23
<b>5.</b>	<b>CIRCUITOS DE LIMPIEZA</b>	<b>29</b>
5.1.	Tipos de circuitos de limpieza	29
5.1.1.	Circuito abierto	29
5.1.2.	Circuito cerrado	30
5.2.	Limpieza de tanques	31
5.3.	Accesorios para la limpieza de tanques	33
5.3.1.	Spray balls	33
<b>6.</b>	<b>TIPOS DE SISTEMA DE LIMPIEZA AUTOMATIZADOS</b>	<b>35</b>
6.1.	Sistema sin recirculación de soluciones de limpieza o agua de enjuague	35
6.2.	Sistema con recirculación de soluciones de limpieza y agua de enjuague	36
<b>7.</b>	<b>ANÁLISIS ECONÓMICO</b>	<b>39</b>
7.1.	Limpieza manual Vrs. Limpieza automática	39
7.1.1.	Temperatura	39
7.1.2.	Concentración	40
7.1.3.	Tiempo del ciclo	40
7.1.4.	Horas/hombre	41
7.1.5.	Reutilización de agua	41
7.2.	Sistemas CIP característicos de la industria alimenticia	42
7.2.1.	Sistema CIP de un tanque	42

7.2.2.	Sistema CIP de dos tanques	43
7.2.3.	Sistema CIP de tres tanques	44
7.2.4.	Sistema CIP de tres tanques tipo dual	45
7.3.	Costos	47
7.3.1.	Tablas de costos	47
7.3.1.1.	Sistema de limpieza manual	47
7.3.1.2.	Sistema de limpieza automático	49
7.3.2.	Análisis VPN	50
<b>8.</b>	<b>FASE DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>51</b>
8.1.	Objetivos	51
8.2.	Metodología	51
<b>9.</b>	<b>FASE TÉCNICO PROFESIONAL</b>	<b>57</b>
9.1.	Objetivos	57
9.2.	Metodología	57
<b>10.</b>	<b>FASE DOCENTE</b>	<b>83</b>
10.1.	Objetivos	83
10.2.	Metodología	83
10.3.	Resultados	89
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>91</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>93</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>95</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>97</b>
A.	Reglas básicas para el diseño de un sistema CIP	97
B.	Dimensionamiento de tanques del sistema CIP	99





# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Carga orgánica del sistema CIP procedente de la línea de producción durante las etapas del ciclo de limpieza	7
2.	Efecto de la temperatura de la solución de limpieza con respecto a la eficiencia del ciclo	13
3.	Relación entre el flujo volumétrico y la velocidad para diferentes diámetros de tuberías.	19
4.	Direcciones de flujo posibles en una válvula de globo	24
5.	Puntos muertos en <i>manifolds</i> de válvulas de globo	25
6.	Válvulas de globo de doble asiento	25
7.	Diagramas de bomba CIP para un tanque de abastecimiento	27
8.	Diagrama sistema CIP circuito abierto	30
9.	Puntos muertos durante la limpieza de tanques	33
10.	Lavado de un tanque de abastecimiento sin reutilización de soluciones de limpieza o agua de enjuague	36
11.	Sistema CIP de un tanque	43
12.	Sistema CIP de dos tanques	44
13.	Sistema CIP de tres tanques	45
14.	Sistema CIP de tres tanques tipo dual	46
15.	Diagrama de proceso del sistema CIP	69
16.	Gráfico porcentual de comprensión del tema por estudiantes	89
17.	Gráfico porcentual de comprensión del tema por operativos	90

## TABLAS

I. Descripción de la fase 1 de limpieza de un sistema CIP	10
II. Temperatura del agua y soluciones alcalinas y ácidas para el sistema CIP	12
III. Solubilidad de constituyentes comunes en la industria alimenticia	15
IV. Flujo volumétrico dentro de una tubería para diferentes Diámetros	31
V. Volúmenes de descarga estándares para soluciones sanitizantes de acuerdo al volumen y dimensiones del tanque	32

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
s	Segundos
min	Minutos
h	Hora
m	Metros
mm	Milímetro
°F	Grados Fahrenheit
°C	Grados Celsius
%	Porcentaje
l	Litro
kg	Kilogramo
kW	Kilowatt
VPN	Valor Presente Neto
BPM's	Buenas Prácticas de Manufactura



## GLOSARIO

<b>Análisis</b>	Descomposición de un cuerpo en sus principios constitutivos. Economía: Cálculo de todos los costes y beneficios posibles asociados a un proyecto.
<b>Automatización</b>	Sistema de fabricación diseñado con el fin de usar la capacidad de las máquinas para llevar a cabo determinadas tareas anteriormente efectuadas por seres humanos, y para controlar la secuencia de las operaciones sin intervención humana.
<b>CIP</b>	Cleaning in Place, que traducido al español significa Limpieza en Sitio o en Lugar.
<b>Economía</b>	Ciencia social que estudia los procesos de producción, distribución, comercialización y consumo de bienes y servicios.
<b>Energía</b>	Capacidad de un sistema físico para realizar trabajo.
<b>Flóculos</b>	Cuerpo formado por aglomeración de partículas en suspensión.
<b>Insumos</b>	Materiales que se utilizan para realizar un trabajo.

<b>Limpieza</b>	Que no presenta mezcla de cosas extrañas.
<b>Mecánica</b>	Rama de la física que se ocupa del movimiento de los objetos y de su respuesta a las fuerzas.
<b>Química</b>	Estudio de la composición, estructura y propiedades de las sustancias materiales, de sus interacciones y de los efectos producidos sobre ellas al añadir o extraer energía en cualquiera de sus formas.
<b>Sanitización</b>	Limpieza de una superficie con eliminación de microorganismos mediante la aplicación de fuentes térmicas o químicas.
<b>Sistema</b>	Un sistema es la interrelación del sujeto, el objeto y el método, en este caso particular se refiere al conjunto de dispositivos, personas y procedimientos que se interaccionan la realización de una tarea, la limpieza de líneas de producción.
<b>Tecnología</b>	Proceso a través del cual los seres humanos diseñan herramientas y máquinas para incrementar su control y su comprensión del entorno material.
<b>Turbulencia</b>	Generación de movimiento aleatorio. La turbulencia de un fluido es medida a través del Número de Reynolds, si éste es mayor de 4,000 se considera como un flujo turbulento.

## RESUMEN

Rutinas de limpieza inadecuadas o irregulares pueden traer serias consecuencias al consumidor, ya que la probabilidad de contaminación del producto por contacto con sustancias extrañas es muy elevada. Para combatir este problema es necesario fomentar el interés en la industria, especialmente en la alimenticia, por la implementación de sistemas de limpieza efectivos, ya sea optimizando los sistemas manuales o instalando sistemas automatizados.

La forma más efectiva de instar a las industrias alimenticias a realizar los cambios que sean necesarios en el sistema de limpieza es mediante un análisis costo-beneficio sustentado por herramientas de análisis económico, en este caso se realizará un análisis del Valor Presente Neto (VPN) tanto para el sistema de limpieza manual como el automático, en éste análisis deben de indicarse claramente tanto los costos como los ahorros generados. A partir de los resultados de estos análisis podrá sustentarse, en caso la mejor elección sea la adquisición de un sistema automático, las datos teóricas proporcionadas por los fabricantes al respecto de ahorro de energía, agua, agentes químicos y tiempo. Además de los ahorros mencionados anteriormente, los fabricantes de sistemas automatizados hacen especial énfasis en los riesgos que se corre al no contar con este tipo de sistema, lo cual puede desencadenar costos por pérdida o contaminación de producto. Es importante señalar que el diseño de sistemas de limpieza automatizados representa un reto para el ingeniero encargado del proyecto, ya que las fuentes bibliográficas disponibles para consulta sobre este tema son casi inexistentes.





## **OBJETIVOS**

- **GENERAL**

Exponer las bases técnicas del funcionamiento del sistema de limpieza automatizado para compararlo con las técnicas de limpieza manuales existentes en la industria alimenticia; y a partir de ello, realizar un análisis económico de ambas propuestas para determinar la viabilidad técnico-económica de éstas.

- **ESPECÍFICOS**

1. Determinar las etapas del procedimiento de limpieza manual de una línea de producción de néctares de fruta.
2. Exponer todos los elementos técnicos que forman parte del sistema CIP de una línea de producción de néctares de fruta, incluyendo las variables de proceso características del sistema de limpieza automático.
3. Determinar el procedimiento adecuado de limpieza CIP para una línea de producción de néctares de fruta en base a las características de operación de la línea de producción.

4. Realizar un análisis económico que refleje los costos que representa para una industria de fabricación de néctares de fruta la limpieza tanto manual como automática de la línea de producción y a partir de dicho análisis determinar cual de las dos opciones es la más rentable.
  
5. Proporcionar una herramienta que le permita al estudiante tener un concepto claro del funcionamiento de un sistema CIP, las ventajas y desventajas que esto representa para una línea de producción en particular.

## INTRODUCCIÓN

Las industrias de crecimiento mundial presentan como común denominador la búsqueda de opciones que permitan aumentar la rentabilidad de la empresa, en el caso particular de la industria alimenticia, esta búsqueda se encuentra dirigida hacia la obtención de tecnología de punta que permita aumentar los niveles de producción, pero comúnmente se ignora que la rentabilidad de una planta productiva no es resultado únicamente del aumento de los índices de producción; por tanto, es necesario tomar en cuenta que existen otros factores determinantes en la eficiencia real de una planta, el más importante de estos factores es la limpieza de las líneas de producción, ésta forma parte activa del proceso productivo, dado que de los buenos resultados de dicha limpieza depende en gran medida la calidad del producto.

En Guatemala, el atraso tecnológico en el que se encuentran inmersas la mayor parte de las industrias alimenticias, con respecto al resto del mundo, se hace aun más notorio en los sistemas de limpieza de líneas de producción. Actualmente en Guatemala, el saneamiento se realiza manualmente en el 98% de las industrias alimenticias, y solamente el 2% cuenta con sistemas de limpieza automatizados, estos últimos reciben el nombre de “CIP” por sus siglas en ingles *Cleaning In Place* (Limpieza en sitio), en ambos sistemas se realiza la limpieza de tuberías, accesorios, bombas y equipos con ayuda de soluciones de limpieza siguiendo como norma básica el siguiente ciclo: enjuague inicial (con agua), lavado con soluciones básicas, segundo enjuague, lavado con soluciones acidas y enjuague final; en cada una de las etapas, el agua de

enjuague y las soluciones deben de cumplir con estándares de temperatura, concentración, tiempo de exposición y flujo volumétrico.

La diferencia básica entre ambos sistemas es el tipo de tecnología que se utiliza en cada uno de ellos, en el lavado manual, la energía mecánica del sistema es proporcionada por el personal de saneamiento, el cual debe controlar que el ciclo de lavado cumpla con todos los estándares requeridos: en el caso de la limpieza automatizada, todas las variables del proceso de lavado son controladas automáticamente. Al momento de comparar ambos sistemas, los sistemas automáticos presentan varias ventajas significativas como el ahorro de volúmenes representativos de agua y agentes de limpieza, reducción del tiempo del ciclo de lavado de líneas de producción hasta en un 25%; y reducción de personal; cabe señalar que la mayor ventaja de este tipo de sistemas son los resultados obtenidos en la limpieza de la línea de producción, dado que el uso correcto de un sistema de CIP bien diseñado, genera una limpieza mucho más eficiente que la limpieza de tipo manual.

Hasta el momento dentro de la industria de procesamiento de alimentos en Guatemala no se le ha dado la importancia merecida a la sanitización de líneas de producción, dado que, como se explicó anteriormente, los pocos o muchos recursos con que cuenta la industria alimenticia son destinados al proceso de producción (en este caso compra de llenadoras, selladoras, etc).

En el presente trabajo de investigación se llevará a cabo el análisis técnico-económico de ambas opciones, con el fin de determinar cuál de las dos es la más adecuada.

# 1. TIPOS DE SISTEMA DE LIMPIEZA

El uso adecuado y cuidadoso de agentes de desinfección durante la producción o procesamiento de diferentes materias primas toma parte importante dentro del rol decisivo del aseguramiento de la calidad de los productos. En particular, lo inadecuado o irregular en las rutinas de limpieza pueden tener serias consecuencias en la seguridad de los consumidores una vez los productos se contaminen.

Comúnmente se cuenta con dos tipos de rutinas de limpieza y desinfección:

- Limpieza manual
- Limpieza automatizada

Ambos sistemas de limpieza se basan en el uso de 3 tipos de energía:

- Energía mecánica
- Energía química
- Energía térmica <sup>(1)</sup>

Tanto la energía química como la energía térmica se obtienen de la misma fuente para ambos sistemas de limpieza, la energía química es proporcionada por agentes alcalinos y ácidos y la energía térmica por intercambiadores de calor, por tanto ***la diferencia principal entre ambos radica en la forma en la que se suministra la energía mecánica.***

(1) El término "Energía Térmica" es utilizado por conveniencia al referirse a la "Energía Calorífica", ya que aunque este último término es el correcto, en todas las fuentes bibliográficas consultadas se hace referencia a la energía calorífica utilizando el término de energía térmica.

En el caso del sistema de limpieza manual la energía mecánica es proporcionada por la fricción de cepillos o esponjas contra las paredes del tanque o tubería que se está sanitizando, el principal contratiempo de este tipo de limpieza radica en que para llevarla a cabo es necesario desmantelar toda la tubería de proceso y en el caso de los tanques de preparación es necesario que una de las personas encargadas de la limpieza ingresen dentro del tanque.

En un sistema CIP, debido a que la energía mecánica es producida por la bomba encargada de circular la solución sanitizante por toda la línea de producción, no es necesario desmantelar las instalaciones del ciclo de producción.

La línea de producción de néctares de fruta, esta estructurada de la siguiente forma.

- Tanque de abastecimiento.
- Tubería de acero inoxidable de 2 ½ pulgadas, en promedio de 162 m de longitud (tubería de alimentación y retorno).
- Bomba centrífuga.
- Bomba autocebante.

## **2. ETAPAS DEL PROCESO DE LIMPIEZA DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN**

Para comprender cada una de las variables del proceso de limpieza de líneas de producción es necesario determinar una a una las etapas dentro del proceso de limpieza manual y automático de una línea de producción, a continuación se describe cada uno de éstos.

### **2.1. Limpieza manual**

#### **2.1.1. Insumos**

- Agua
- Soda cáustica
- Detergente liquido neutro
- Esponjas
- Cepillo para limpieza de visores
- Cepillo de mango largo de acero inoxidable
- Manguera plástica
- Pistola para manguera
- Recipientes para Soluciones básicas y

## **2.1.2. Actividades**

### **2.1.2.1. Preenjuague**

- Utilizando una manguera, lave las paredes de equipos y tanques de almacenamiento. (150 galones de agua)
- Acumular 100 galones de agua en el tanque de preparación y bombearlos al resto de los equipos.
- Desarmar las tuberías que conectan los diferentes equipos y lavarla con agua a presión. (50 galones)
- Armar nuevamente las tuberías.

### **2.1.2.2. Recirculación con soda**

- Acumular 400 galones de agua en el tanque de preparación.
- Agregar 110 libras de soda cáustica.
- Recircular durante 15 minutos y caliente hasta 180 °F.
- Bombear la solución hacia el siguiente equipo y recircule por 25 minutos, mantener la temperatura en 180 °F.

### **2.1.2.3. Recirculación con agua caliente**

- Acumular 400 galones de agua en el tanque de preparación.
- Recircular durante 5 minutos, y caliente hasta llegar a 180 °F.
- Bombee el agua hacia el siguiente equipo y recircule durante 15 minutos, mantener la temperatura en 180 °F.



#### **2.1.2.4. Recirculación con agua fría**

- Acumular 400 galones de agua en el tanque de preparación.
- Recircular durante 10 minutos.
- Bombear el agua hacia el siguiente equipo, recircular durante 20 minutos.

#### **2.1.2.5. Lavado con detergente líquido y enjuague final**

- Verter 5 onzas de detergente líquido neutro por galón.
- Con ayuda de una esponja lave todos los equipos, tanto por dentro como por fuera. (aproximadamente 70 galones de agua)
- Enjuague con agua (con ayuda de una manguera). (100 galones).

La realización de estas actividades en una línea de producción estructurada de acuerdo a la descripción proporcionada en el capítulo anterior, requiere del trabajo efectivo de 4 obreros, el tiempo estimado de limpieza es de **159** minutos.

## **2.2. Limpieza automática**

El equipo CIP es un sistema de limpieza automatizado que integra técnicas de limpieza por etapas, cada una de las cuales es programada electrónicamente de acuerdo a las dimensiones de la línea de producción que se desea sanitizar.

A continuación se presentan las etapas de limpieza asociadas al sistema CIP, básicamente estas etapas no difieren de las observadas en un sistema manual, lo que las distingue como se explico anteriormente es la fuente de la energía mecánica de limpieza, lo cual obviamente se traduce en diferentes tipos de insumos.

### **2.2.1. Insumos**

- Agua, agente alcalino y agente ácido
- Bomba Centrífuga compatible con sistemas CIP
- Intercambiador de calor
- Equipo CIP
- Tuberías de acero inoxidable
- Medidores de flujo
- Válvulas a prueba de mezcla (válvulas *mix proof*)

### **2.2.2. Actividades**

Como se observará a continuación las actividades propias de la limpieza de líneas de producción permanecen casi invariables al comparar un sistema manual con un automático, la diferencia radica principalmente en los insumos y la fuente de energía mecánica que se utiliza para llevar a cabo dicha limpieza.

Las etapas de un sistema de limpieza CIP son:

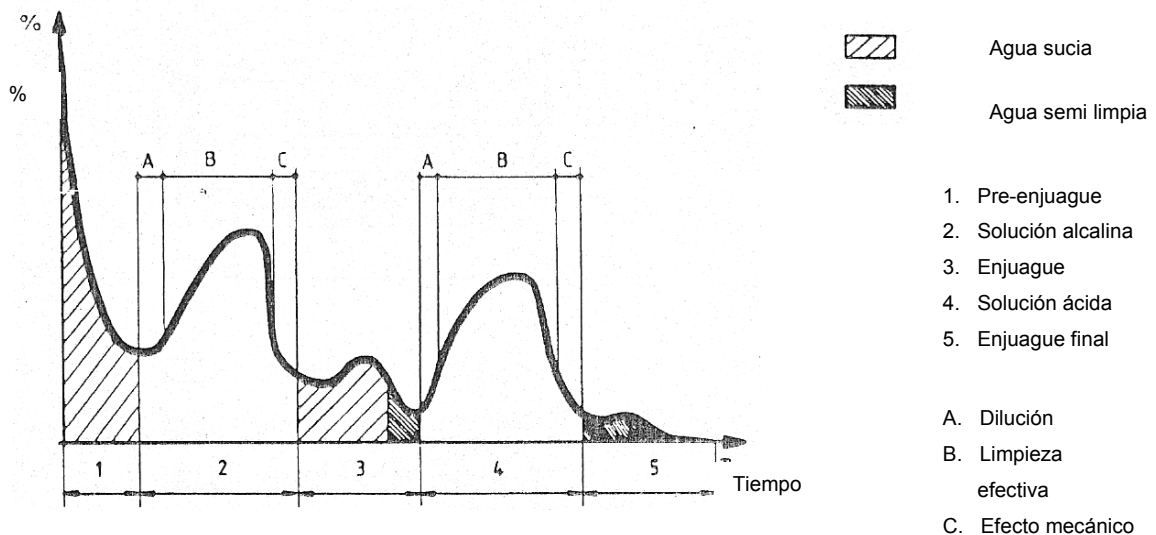
- Pre-enjuague
- Circulación de solución alcalina
- Enjuague

- Circulación de solución ácida
- Enjuague final

Comúnmente en los sistemas de limpieza CIP es posible determinar en que etapa del proceso de limpieza se encuentra la línea de producción de acuerdo al porcentaje de carga orgánica medida en un tiempo determinado. Comúnmente la carga orgánica es medida en línea intermitentemente durante todo el tiempo que dure el ciclo de limpieza.

A continuación se presenta el gráfico de carga orgánica versus tiempo, para un sistema CIP de tres tanques en una línea de producción de néctares de frutas.

**Figura 1. Carga orgánica del sistema CIP procedente de la línea de producción durante las diferentes etapas del ciclo de limpieza.**



Fuente: Manual técnico de Limpieza en Sitio -CIP-

La limpieza de una línea de producción estructurada de la forma indicada anteriormente requiere para su limpieza, utilizando un sistema CIP, aproximadamente de **50 minutos**, lo cual se traduce en un ahorro de tiempo efectivo de trabajo en aproximadamente **68%** comparado con la limpieza manual.

### 3. VARIABLES DEL PROCESO DE SANEAMIENTO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

Para obtener una limpieza efectiva, tanto en un sistema manual como en uno automático, es necesario controlar 4 variables:

- Tiempo
- Temperatura
- Concentración de las soluciones de limpieza
- Turbulencia

#### 3.1. Tiempo

En un sistema de limpieza manual la cantidad de energía mecánica no puede contabilizarse, lo cual impide la determinación del tiempo de limpieza necesario para alcanzar resultados eficientes, así que en la limpieza manual es ***prácticamente imposible determinar un tiempo exacto de limpieza*** ya que este tiempo depende de la habilidad de los obreros que realicen las actividades de limpieza, ya que se requiere de destreza para desarmar rápidamente las tuberías, limpiarlas y volverlas a armar, esto sin tomar en cuenta lo difícil y peligroso que resulta el lavar un tanque de preparación desde el interior del mismo. Al utilizar un sistema CIP es posible determinar con exactitud el tiempo necesario para limpiar la línea de producción, ya que éste se determina en base a la velocidad de la corriente de agua fresca de enjuague a 20°C y el coeficiente de cizalladura que el fluido ejerza sobre las paredes de las tuberías.

A continuación se describen las etapas de limpieza utilizando lapsos de tiempo estándar para realizar las actividades de limpieza en un sistema CIP, basándose para ello en el análisis de un sistema de limpieza que dura aproximadamente de 45 minutos.

### 3.1.1. Fase 1

Corresponde a la difusión de agua dentro de la capa de residuos, produciendo un aumento de volumen en las partículas sólidas por la absorción de agua.

**Tabla I. Descripción de la fase 1 de limpieza de un sistema CIP**

t = 0	Se tiene una capa de residuos relativamente homogénea, de un ancho aproximado de 1mm.
t = 30s	Incremento en el ancho de la capa de residuos hasta aproximadamente 1.2mm.
t = 60s	Separación de la parte superficial de la capa de residuos, dejando adherida una capa de aproximadamente 0.3mm.
t = 3min	Incremento en el volumen de la capa de residuos hasta 0.5 o 0.8mm.

Fuente: Manual técnico de Limpieza en Sitio -CIP-

### **3.1.2. Fase 2**

Luego de la primera fase, la capa de residuos ya saturada de agua, inicia a romperse formando pequeños grupos de moléculas (flóculos), lo cual requiere entre 3 y 10 minutos.

### **3.1.3. Fase 3**

En esta fase, con la ayuda de la fuerza mecánica del agua, se eliminan todos los flóculos y la última capa adherida a la superficie de los equipos, compuesta principalmente por fosfatos de calcio y sales minerales. Esta fase requiere de 10 a 15 minutos.

## **3.2. Temperatura**

Durante la ejecución de una limpieza de tipo manual es imposible que el resto de variables del sistema (fuerza mecánica y fuerza química) se mantengan en un rango relativamente constante, por lo tanto para asegurarse que el proceso de limpieza es efectivo, los estándares de temperatura se encuentran aproximadamente un 35% sobre los requerimientos de temperatura de los sistemas automáticos.

A continuación se presenta una tabla con los rangos de temperatura requeridos para un sistema de limpieza automático:

**Tabla II. Temperaturas del agua y soluciones alcalina y ácida para un sistema CIP.**

Agua de enjuague	Temperatura ambiente, de 15 a 30°C.
Solución ácida	Temperatura de 60 a 70°C.
Solución alcalina	Temperatura de 70 a 80°C.

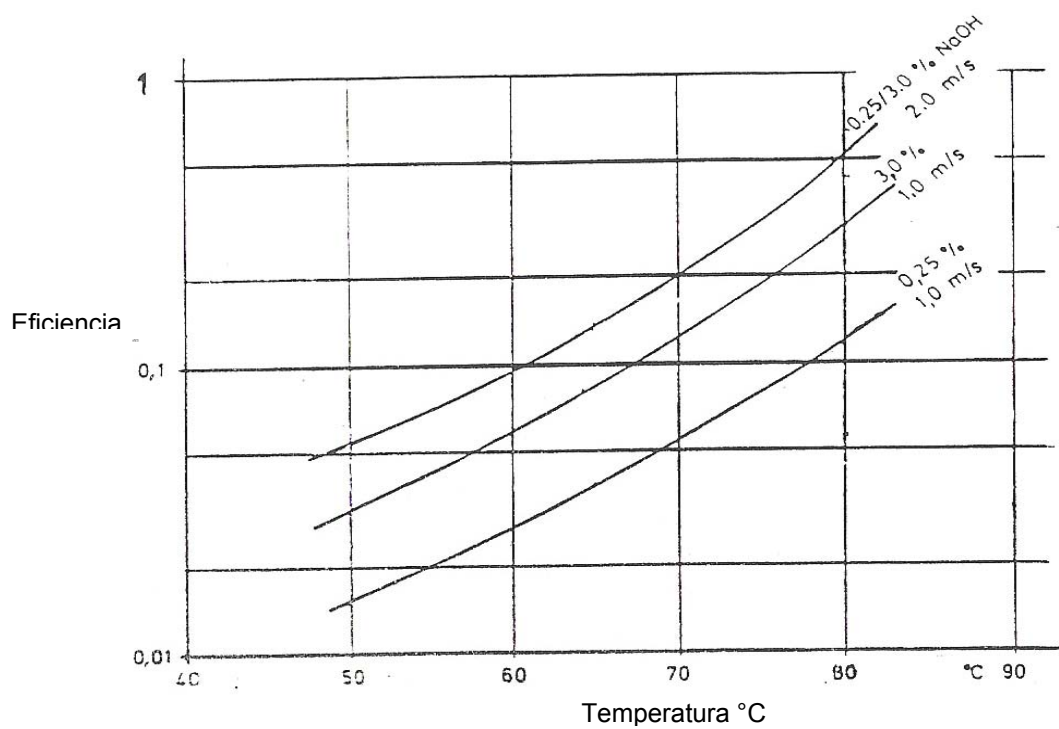
Fuente: Manual técnico de Limpieza en Sitio -CIP-

Al definir las temperaturas de trabajo del sistema CIP es necesario tomar en cuenta el estudio publicado por Verfahrenstechnik der Bundesanstalt für Milchforschung Kiel, donde se demostró que ***“a velocidad y concentración constante de la solución de limpieza puede ahorrarse gran cantidad de tiempo si se elige la temperatura de trabajo correcta”***.

Para comprender el enunciado anterior es necesario conocer las variables a las cuales se realizó la experimentación, en este caso el estudio determinó que se obtienen los mismos resultados en limpieza de una superficie de acero inoxidable en 125 segundos a 85°C, que en 350 segundos a una temperatura de 70°C o que en 875 segundos a una temperatura de 55°C, lo cual indica que ***“Un incremento de 5°C de la solución de limpieza, a una concentración y velocidad constante, genera aproximadamente el doble de eficiencia en el ciclo de limpieza”***. En la siguiente figura es posible observar la relación existente entre la temperatura de la solución de limpieza (solución alcalina) y la eficiencia de limpieza en la superficie a diferentes concentraciones de dicha solución, a partir de esta gráfica es posible determinar la concentración y la temperatura óptima para alcanzar una eficiencia operacional tanto técnica como económica.



**Figura 2. Efecto de la temperatura de la solución de limpieza básica con respecto a la eficiencia del ciclo.**



Fuente: Manual técnico de Limpieza en Sitio

### 3.3. Concentración

Para realizar el diseño del sistema CIP y determinar el tipo y concentración de los agentes de limpieza es necesario conocer el tipo de residuo que desea eliminarse.

- Residuos solubles en ácidos

Carbonato de calcio, depósitos minerales (aguas duras) y algunas proteínas (uso de ácidos fuertes).

- Residuos solubles en bases

Grasas vegetales, grasa de leche, grasas animales y proteínas.

- Residuos insolubles en soluciones ácidas y básicas

Fibras orgánicas (plástico, madera, etc), carbón, ceras.

- Residuos solubles en solventes orgánicos

Aceites, ceras, algunas fibras orgánicas.

Debe tomarse en cuenta que aún más importante que el conocimiento de los tipos de residuos que se van a eliminar es necesario tener conocimiento de la composición de los films que se acumulan en las superficies a sanitizar.

Para garantizar que se utilizara el agente adecuado y la elección de la concentración de este se ajusta a las necesidades de la línea de producción a sanitizar es necesario determinar aspectos como la solubilidad de las sustancias a eliminar en el agua o soluciones de limpieza y la naturaleza de los componentes de dichas soluciones (agua, agentes ácidos y agentes básicos).

### **3.3.1. Solubilidad**

A continuación se presenta una tabla en la cual se indica la solubilidad de los constituyentes a eliminar más comunes dentro de la industria de alimentos tanto en soluciones alcalinas y ácidas como en el agua.

**Tabla III. Solubilidad de constituyentes comunes en la industria alimenticia.**

CONSTITUYENTE	SOLUBILIDAD EN		
	AGUA	SOLUCIÓN ALCALINA	SOLUCIÓN ÁCIDA
Grasa	Mala	Buena	Media
Proteínas	Mala	Buena	Media
Sales minerales	Media	Media	Buena
Lactosa	Buena	Mala	Mala

Fuente: Manual técnico de Limpieza en Sitio -CIP-

### **3.3.2. Principios básicos de la remoción de residuos**

A continuación se describen los aspectos en los cuales es necesario hacer mayor énfasis durante la elección de los compuestos que conformaran la solución de limpieza.

- Contacto entre el detergente y los residuos durante el primer ciclo de lavado.
- Desplazamiento del residuo por saponificación de grasas, reacciones pépticas de las proteínas, o disolución de sales minerales.
- Dispersión de residuos por desfloculación y/o emulsión.
- Prevención de redeposición mediante el diseño correcto de los ciclos de enjuague.

Al resolver estas cuatro necesidades es obvio que como resultado se tendrá el correcto funcionamiento del CIP, basado por supuesto en la elección correcta de los agentes químicos, la turbulencia de la solución de limpieza, el tiempo y la temperatura de las soluciones.

Las etapas de limpieza del ciclo CIP deben de estar diseñados para proveer al sistema la energía necesaria, tanto mecánica, térmica como química, para convertir los residuos adheridos a la superficie de los equipos en sólidos suspendidos o disueltos, removiendo al mismo tiempo la mayor cantidad de microorganismos. De acuerdo a las necesidades del sistema puede adicionarse un paso final al ciclo de limpieza, ya que en caso de contar con microorganismos termodúricos debe de llevarse a cabo una esterilización.

### **3.3.3. Componentes**

#### **3.3.3.1. Agua**

El agua es el principal componente de las soluciones de limpieza, esta debe de contener como máximo de 0.2 a 0.3 mg de cloro por litro; el agua desestabiliza la estructura molecular de los depósitos orgánicos e inorgánicos y sirve como:

- Generador de fuerzas hidrodinámicas.
- Solvente.
- Medio de transporte hidráulico para los depósitos removidos.
- Medio de transporte para la energía térmica.

### **3.3.3.2. Agentes Alcalinos**

Principalmente se utilizan 3 compuestos químicos como agentes alcalinos, estos son:

- Soda cáustica ( $\text{NaOH}$ )
- Carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )
- Fosfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{PO}_4$ )

La concentración de este tipo de soluciones normalmente se encuentra entre 2 y 3% a un rango de temperatura de 70 a 85°C.

### **3.3.3.3. Agentes Ácidos**

Los ácidos se utilizan para disolver sales y algunas proteínas, los ácidos de uso común son:

- Ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ )
- Ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )

La concentración de las soluciones ácidas debe de encontrarse entre el 1 al 2% y la temperatura entre 60 y 70°C.

### 3.4. Turbulencia

La turbulencia únicamente aplica a los sistemas de limpieza automatizados, ya que en los sistemas manuales, como se explicó anteriormente, la fuerza mecánica para la limpieza es producto de la fricción ejercida, por el uso de esponjas o cepillos en contando con las paredes de tuberías y equipos.

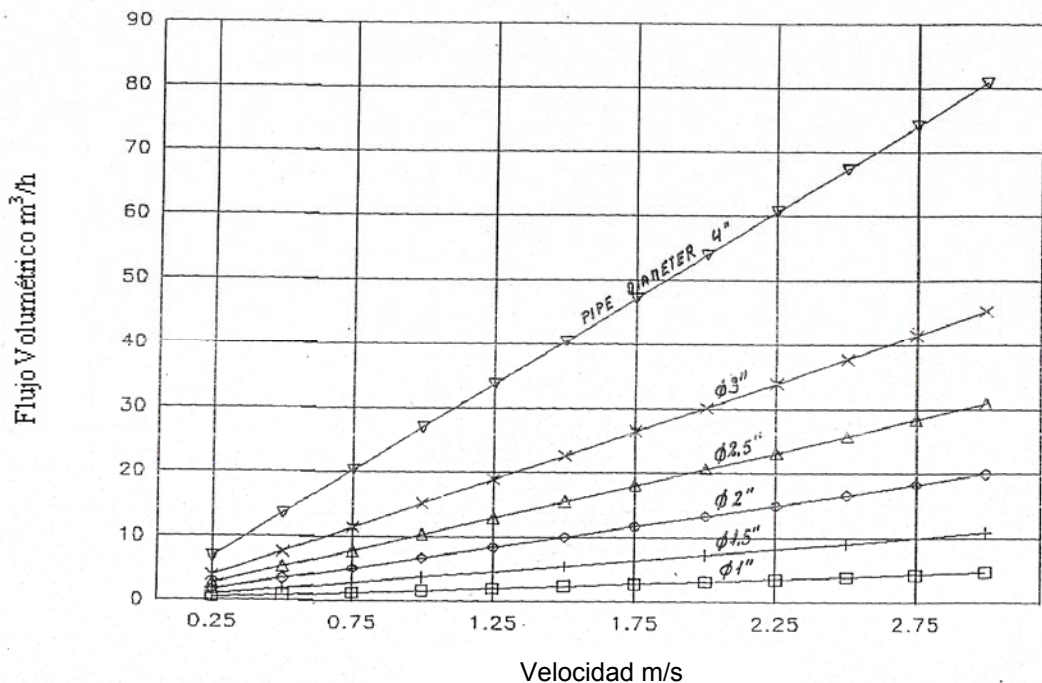
En los sistemas automatizados, la energía mecánica para llevar a cabo la limpieza de la línea de producción se obtiene a partir de la energía centrífuga de la bomba, dicha energía se disipa por fricción y turbulencia dentro del equipo que se desea limpiar. Para un Sistema CIP, la fricción superficial óptima se encuentra en el orden de 8 a 10N/m<sup>2</sup>, de cualquier modo, el rol de la energía mecánica no debe de subestimarse, aún a valores relativamente bajos.

Trabajos de investigación apuntan a una velocidad óptima del fluido se encuentra entre 1.3 a 2m/s, en cualquier caso, la velocidad de limpieza no debe ser menor de 1.8m/s, **lo cual es independiente del diámetro de la tubería**. Los costos de la energía por bombeo de los fluidos representan aproximadamente del **5 al 10%** del total del costo del ciclo de limpieza, los cuales obviamente se ven reflejados en el consumo de energía eléctrica.

Un incremento de la velocidad del flujo sobre **2m/s no proporciona beneficios sustanciales en la limpieza**, en vez de esto aumenta en gran medida los costos, dado que **la energía necesaria para el bombeo se incrementa en relación cuadrática con la velocidad del fluido**.

Como se indicó anteriormente, el aumentar la velocidad por encima de 2m/s no genera una mejora significativa en la limpieza de la línea de producción ya que una vez se alcance el valor de fricción superficial óptimo, la fricción extra que se produzca no representa mas que un gasto innecesario de energía; pero en caso contrario, si se trabaja a una velocidad menor del estándar (1.4 m/s) los resultados obtenidos en la limpieza son deficientes, ya que para llevar a cabo la limpieza de puntos muertos en una línea de producción de néctares de frutas es necesario alcanzar al menos 1.4m/s, cabe señalar que estos puntos muertos no deben de ser mayores a 2 veces el diámetro de la tubería.

**Figura 3. Relación entre flujo volumétrico y velocidad para diferentes diámetros de tubería.**



Fuente: Manual técnico de Limpieza en Sitio -CIP-





## **4. EQUIPOS SANITARIOS DE LA TECNOLOGÍA CIP**

### **4.1. Conceptos sanitarios para el procesamiento de líneas**

El método de limpieza que se seleccione, ya sea manual o por medio de un CIP, siempre debe de incluirse en el concepto del proyecto de montaje de líneas de producción, inclusive dentro de las etapas iniciales del mismo.

Para un CIP, los diagramas de flujo de proceso, deben de incluir los diferentes circuitos de limpieza, la composición de dicho circuito debe de ir asociada con los procesos de manufactura, equipo disponible para la limpieza y los diferentes parámetros que limitan el buen funcionamiento del CIP, entre ellos tenemos el flujo de la solución de limpieza, temperatura, concentración y duración de la limpieza.

### **4.2. Detalles para la construcción del equipo**

A continuación se presentan algunas de las reglas que no deben de pasarse por alto durante el diseño del sistema CIP.

- La calidad de las soldaduras debe de coincidir con la calidad del material.
- Elementos con ángulos de 135° o menos, deben de tener esquinas redondeadas con radios de por lo menos 6mm.
- Todas las caras internas del equipo deben de ser accesibles para entrar en contacto con la solución de limpieza.

- Las tuberías de producto deben de ser diseñadas para ser de fácil drene.
- Las tuberías deben de ser lo más cortas posible.
- Todos los accesorios deben de ser diseñados para ser limpiados por el CIP.

### **4.3. Tubería sanitaria**

Actualmente únicamente se utiliza acero inoxidable, tanto para tuberías como para tanques, normalmente 304 o 304L (bajo en carbón) dando buenos resultados, en casos particulares donde se presentan riesgos elevados de corrosión, se utiliza tubería 316 o 316L.

El sistema de tuberías diseñado para los CIP, debe de asegurar una buena distribución de las soluciones de limpieza en todas las superficies que entren en contacto con el producto durante los circuitos de producción. Para cumplir con estas condiciones, cambios abruptos de diámetro y puntos muertos deben de ser minimizados. La construcción de tubería debe de cumplir con todos los estándares de higiene acordados por la industria de alimentos.

Las tuberías de las líneas de producción deben de tener al menos un declive de 1% para facilitar el drenaje; para tuberías largas, debe de tenerse un declive en dos direcciones con el fin de evitar largas diferencias de nivel en las tuberías.

#### **4.4. Accesorios sanitarios**

La seguridad en la limpieza de una línea de producción, se determina en función de la capacidad del sistema para evitar la contaminación del producto con las soluciones de limpieza.

##### **4.4.1. Placas de acople**

Para establecer una barrera física entre los líquidos (producto y solución de limpieza), una placa de acople con abertura a la atmósfera, elimina el riesgo de contaminación.

##### **4.4.2. Válvulas**

Las válvulas son los puntos críticos en los sistemas de tubería. Estos elementos deben de satisfacer estrictas normas de seguridad e higiene (BPM's). La elección sobre el tipo de válvula a utilizar es un factor decisivo tanto en los costos como en la rentabilidad y mantenimiento, de igual forma debe de contemplarse la posibilidad de una futura automatización si la instalación es manual.

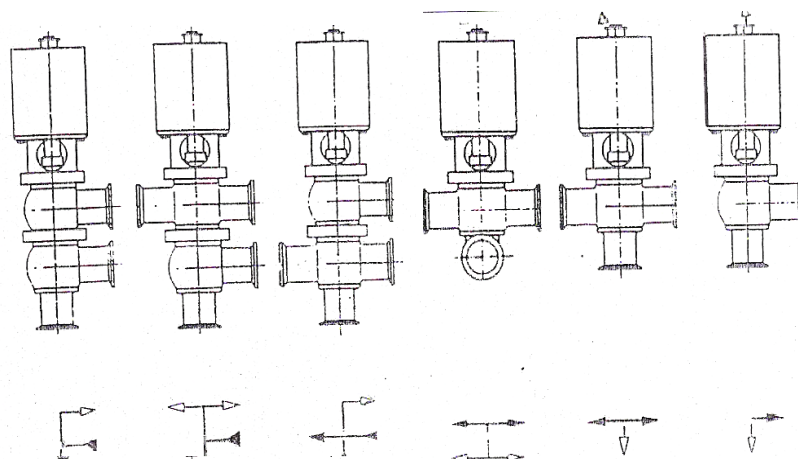
###### **4.4.2.1. Válvulas de mariposa**

Estas válvulas satisfacen la mayoría de los requerimientos dado que es de fácil limpieza, no es cara y el mantenimiento es relativamente simple; de igual forma tiene la posibilidad de instalar un actuador automático.

#### 4.4.2.2. Válvulas de globo

Esta válvula es más compleja y más costosa, es buena para la construcción de *manifolds* de válvulas para líneas automáticas, dado que la utilización de estas válvulas permite la creación de circuitos compactos de tubería. A continuación se presentan los esquemas de válvulas de globo y las direcciones de flujo que estas permiten:

**Figura 4. Direcciones de flujo posibles en una válvula de globo.**

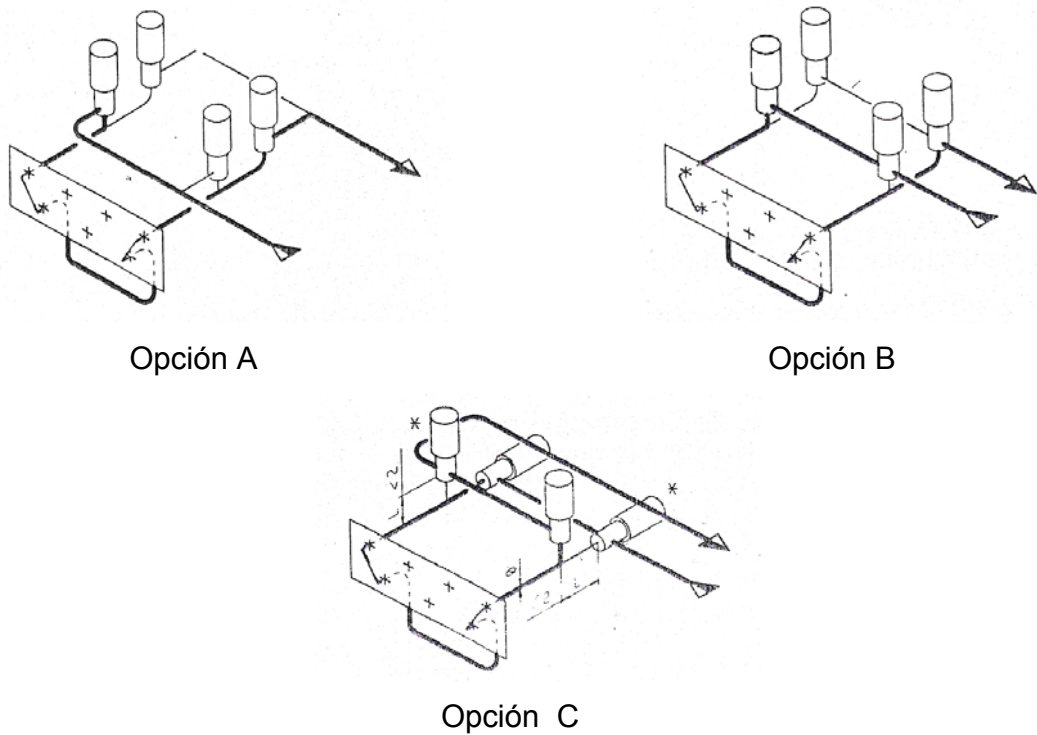


Fuente: Manual técnico de Limpieza en Sitio -CIP-

La ventaja de una válvula de globo es el fácil acceso al asiento y al pistón mediante la remoción de la parte superior de la válvula. Para la limpieza, el flujo del líquido sanitizante debe de pasar a través de la válvula. Es importante tomar en cuenta que la cámara de la válvula no puede ser limpiada si no se tiene turbulencia en el flujo de limpieza.

A continuación se presentan diferentes diagramas donde se muestran el tipo de dificultades que normalmente se crean por la mala elección del circuito de limpieza; tanto la opción A como la B presentan puntos muertos (líneas delgadas), mientras que en la opción C no se presentan dichos puntos muertos.

**Figura 5. Puntos muertos en *manifolds* de válvulas de globo.**

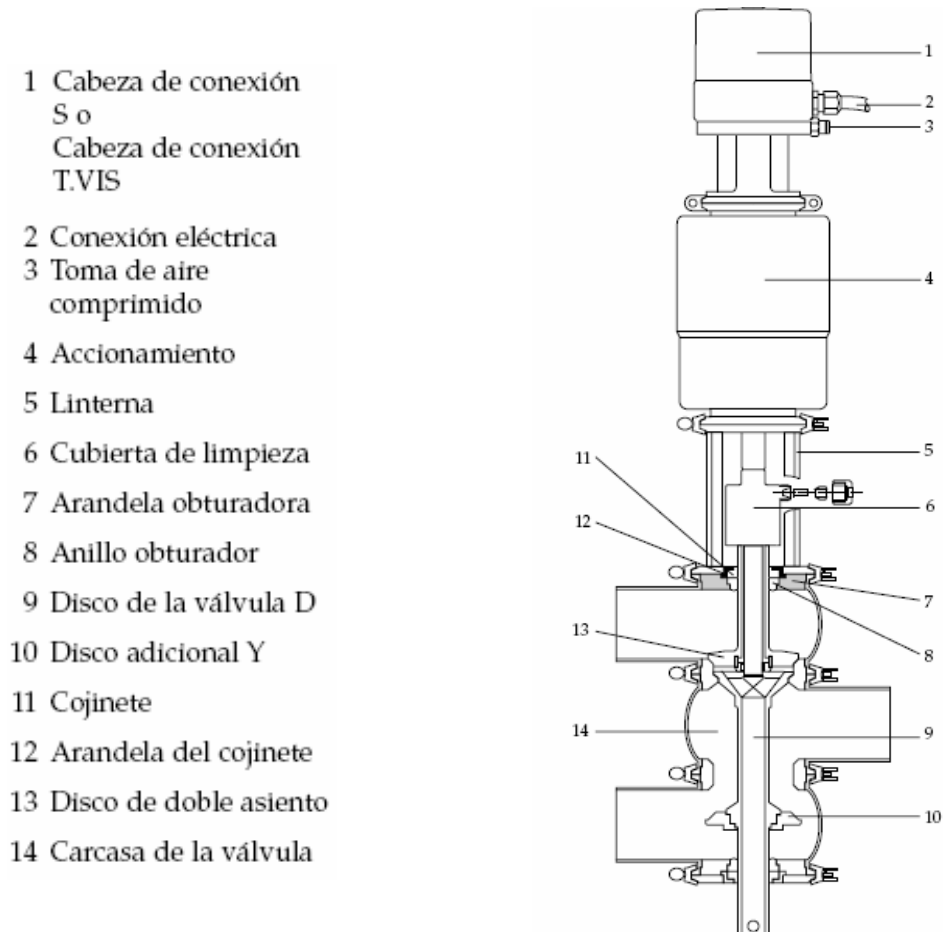


Fuente: Manual técnico de Limpieza en Sitio -CIP-

#### **4.4.2.3. Válvulas de globo de doble asiento**

El uso de válvulas de doble asiento para el manejo de dos fluidos diferentes, elimina la necesidad de utilización de las placas de acople, lo cual simplifica en gran medida el circuito de tuberías.

**Figura 6. Válvula mix proof: Direcciones de flujo posibles en una válvula de globo.**

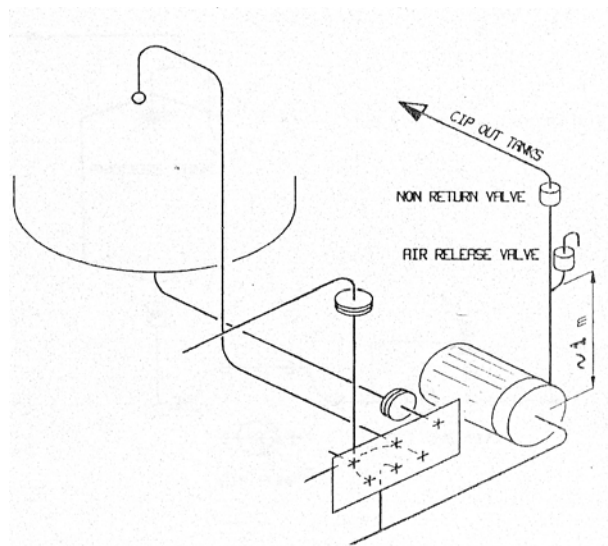


Fuente: Manual Varivent Tuchenhagen

### 4.4.3. Bombas Centrífugas y Autocebantes

La cantidad y el tipo de bombas a utilizar se define de acuerdo a la capacidad y al tipo de circuito que se este limpiando (Ver sección 5), comúnmente para alimentar la línea de producción desde el sistema CIP hacia el tanque de preparación se utiliza una bomba centrífuga simple, y para retornar el líquido, se utiliza una bomba autocebante. Al elegir las bomba a utilizar en el sistema CIP es importante tomar en cuenta que el impeler y el resto de accesorios deben de estar diseñados para ser limpiados por este sistema. A continuación se presenta un diagrama del proceso CIP para un tanque de abastecimiento de néctares en el cual se muestra la ubicación de la bomba centrífuga que alimenta el circuito de limpieza del sistema CIP para un tanque de abastecimiento.

**Figura 7. Diagrama de bomba CIP para un tanque de abastecimiento.**



Fuente: Manual técnico de Limpieza en Sitio -CIP-





## **5. CIRCUITOS DE LIMPIEZA**

### **5.1. Tipos de circuitos de limpieza**

#### **5.1.1. Circuito Abierto**

La presencia de un tanque dentro de un circuito de limpieza determina si el mismo es abierto o cerrado. Un circuito abierto es el que requiere de una bomba adicional que provea de energía mecánica al fluido que retorna a la estación CIP debido a que en una de sus etapas se encuentra un tanque que ocasiona una pérdida de presión.

En estos circuitos la acción mecánica de limpieza de los tanques debe de realizarse mediante sprays dirigidos a la superficie del equipo, cabe señalar que en los circuitos cerrados la acción mecánica de limpieza se realiza mediante turbulencia.

Para el sistema de Spray del CIP, pueden utilizarse dos técnicas:

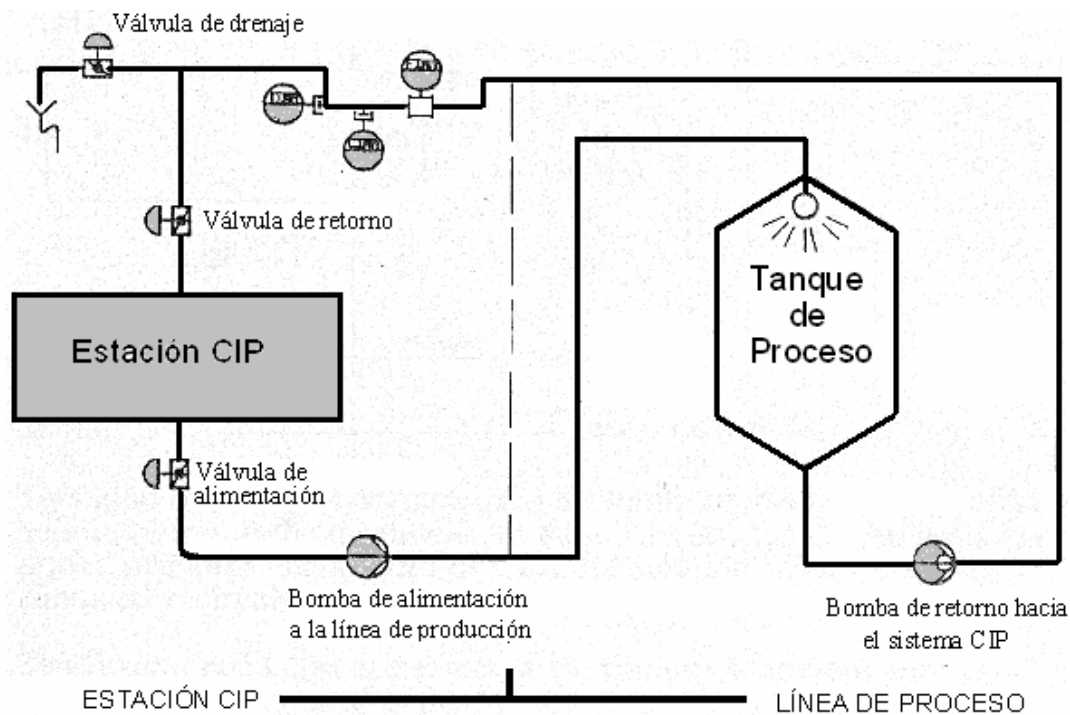
- **Limpieza a alta presión**

El rango de presión se encuentra entre 10 y 100 bares.

- **Limpieza a baja presión**

El rango de presión se encuentra entre 1 y 5 bares.

**Figura 8. Diagrama completo de sistema CIP para un circuito abierto.**



Fuente: Manual técnico de Limpieza en Sitio -CIP-

### 5.1.2. Circuito Cerrado

Sin la pérdida de presión en el circuito (no hay presencia de tanques), no es necesario colocar una bomba adicional para retornar las soluciones al sistema. Los circuitos cerrados requieren pequeños volúmenes de líquido sanitizante, en estos circuitos, los equipos están bajo presión y en contacto completo con las soluciones de limpieza, lo cual permite una recirculación constante de ésta.

Para obtener un buen efecto de limpieza se requiere un flujo de turbulencia constante, manteniendo en promedio una velocidad de 1.5 m/s. A continuación se presenta una tabla en la cual se indican los diámetros de tubería y el flujo volumétrico mínimo para obtener una limpieza eficiente.

**Tabla IV. Flujo volumétrico dentro de una tubería para diferentes diámetros.**

Diámetro de tubería (pulgadas)	Flujo volumétrico (m <sup>3</sup> /h)
1	2.5
1.5	6
2	10
2.5	16
3	23
4	40

Fuente: Manual técnico de Limpieza en Sitio -CIP-

## **5.2. Limpieza de tanques**

Para la limpieza de tanques estándar, un valor entre 0.06 a 0.08 litros por metro cuadrado de superficie interna por segundo es suficiente (1 a 5 metros de radio).

Para tanques verticales el volumen de descarga de las soluciones sanitizantes dependen del diámetro y la altura del tanque, generalmente a diámetros iguales o mayores de 3.5m se maneja un flujo volumétrico de aproximadamente 25 a 45 m<sup>3</sup>/h y para diámetros iguales a 3m se presentan flujos de entre 15 y 27m<sup>3</sup>/h.

A continuación, en la tabla 8 se presentan datos de flujo volumétrico, diámetro de tubería y diámetro de tanque para diferentes alturas y volúmenes de tanques de almacenamiento o abastecimiento, dichos diámetros son los más comunes dentro de la industria alimenticia.

**Tabla V. Volúmenes de descarga estándares para soluciones sanitizantes de acuerdo al volumen y dimensiones del tanque.**

Tanque m <sup>3</sup>	Diámetro m	Altura m	Rango de flujo		Tubería pulgadas
			<i>mínimo</i> 0.06dm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .s m <sup>3</sup> /h	<i>máximo</i> 0.08dm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .s m <sup>3</sup> /h	
40	3	6	15	20	2 ½
60	3	8.5	20	27	3
80	3.5	8.5	24	32	3
100	3.5	10.5	29	39	3
120	3.5	12.5	34	45	4

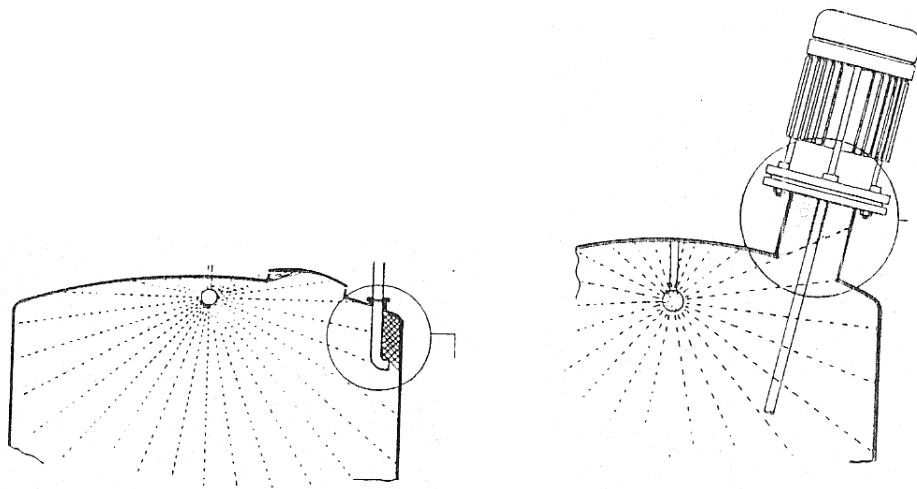
Fuente: Manual técnico de Limpieza en Sitio -CIP-

### 5.3. Accesorios para la limpieza de tanques

#### 5.3.1. Spray balls

Existen varios equipos de dispersión en el mercado, pero por razones de costo y simplicidad se recomiendan las esferas llamadas Spray Balls. Al momento de limpiar equipos con estos instrumentos es necesario eliminar cualquier punto muerto del sistema, como se explica en la siguiente figura.

**Figura 9. Puntos muertos durante el lavado de un taque de abastecimiento utilizando *spray balls*.**



Fuente: Manual técnico de Limpieza en Sitio -CIP-



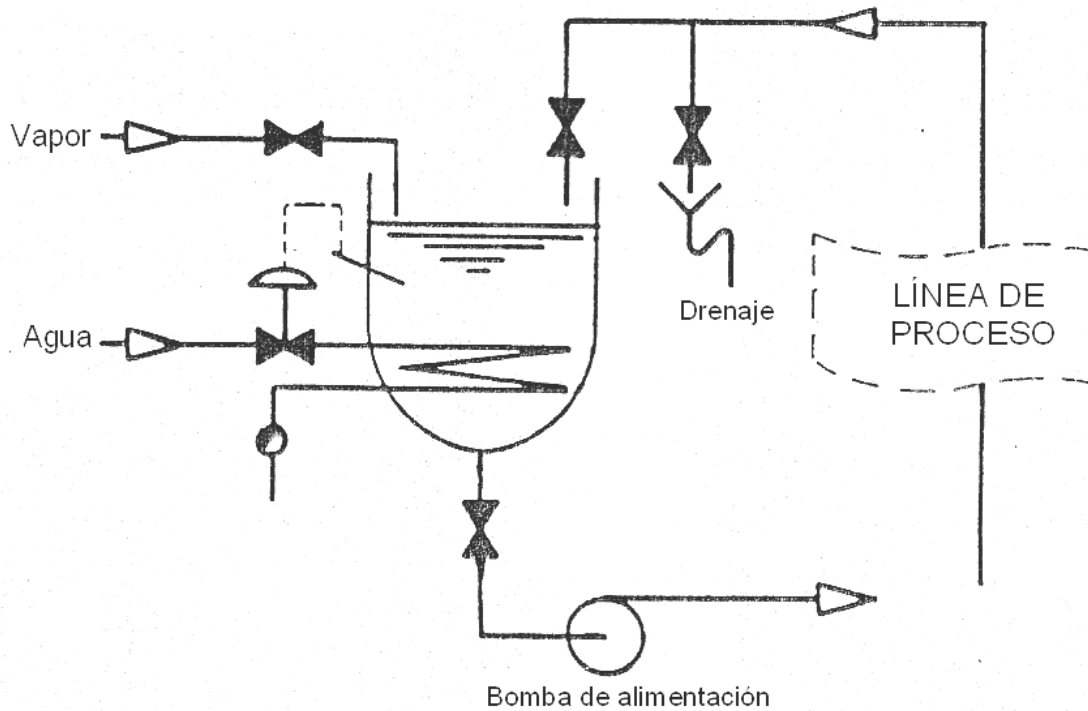
## **6. TIPOS DE SISTEMAS DE LIMPIEZA AUTOMATIZADOS CIP**

### **6.1. Sistema sin recirculación de soluciones de limpieza o agua de enjuague**

Por razones ecológicas y de costos de operación, este concepto de limpieza se utiliza cada vez menos; dado que el costo del ciclo de limpieza con este tipo de proceso es de 5 a 7 veces mayor que el ciclo con recuperación de soluciones.

Este tipo de sistema se utiliza comúnmente en pequeñas instalaciones de refrigeración de leche; otro problema con de este proceso radica en que es necesario neutralizar los efluentes de descarga, obviamente por razones ecológicas. A continuación se presenta el diagrama de este tipo de sistema de limpieza.

**Figura 10. Lavado de un tanque de abastecimiento sin reutilización de soluciones de limpieza o agua de enjuague.**



Fuente: Manual técnico de Limpieza en Sitio -CIP-

## **6.2. Sistema con recirculación de soluciones de limpieza y agua de enjuague**

Una estación de CIP con reutilización de soluciones, al menos debe de presentar los siguientes elementos.



- Tanque (insulado) para almacenar una solución de soda cáustica con o sin serpentines de calentamiento.
- Tanque (insulado) para almacenar una solución ácida con o sin serpentín de calentamiento.
- Tanque (no insulado) para agua de recuperación.
- Tanque (no insulado) para agua fresca.
- Sistemas con válvulas automáticas.
- Bombas de distribución.
- Panel de control.

Es importante tomar en cuenta que el costo de un sistema CIP con reutilización de soluciones es de 6 a 8 veces mayor en comparación con un sistema sin ésta, dado que como primer punto se necesita un mantenimiento constante del pH de las soluciones de limpieza mediante un control regular de las mismas por medio de titulaciones. La corrección del pH puede variar de acuerdo al tipo de proceso que se lleve a cabo en la línea de producción; por lo tanto es posible realizar las correcciones de pH una vez por turno o mediante sistemas de dosificación automatizados.

La elección del sistema de dosificación depende de factores como frecuencia de uso de las soluciones, tamaño de la estación de CIP y de la tecnología de los sistemas de producción que se desean limpiar.

Además de las titulaciones de las soluciones, es importante supervisar el contenido de materia orgánica en los depósitos del CIP, para ello es necesario realizar un análisis COD (*Chemical Oxygen Demand*); de cualquier forma, las soluciones deben de ser purgadas periódicamente mediante una válvula de drene que se ubica debajo de los tanques de almacenamiento.

La purga debe de realizarse luego de 2 o 3 horas luego de que el sistema dejó de trabajar, esto con el fin de favorecer la sedimentación de los sólidos; la cantidad de líquido a purgar es normalmente entre del 1 al 2% del volumen del tanque (comúnmente de 30 a 80 litros).

### **6.2.1. Programas de Limpieza**

La determinación de parámetros como tiempo, velocidad, temperatura y la concentración debe de realizarse mediante programas de automatización diseñados para las necesidades de la planta de producción con la cual se está trabajando.

## **7. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS SISTEMAS DE LIMPIEZA MANUALES Y AUTOMÁTICOS**

### **7.1. Limpieza manual Vrs. Limpieza automática**

A partir de los temas tratados en las secciones anteriores es posible discernir que las diferencias más significativas que se presentan entre un sistema de limpieza automatizado y uno manual radica en las variables de operación que rigen cada una de estas etapas, entre estas variables se tienen:

#### **7.1.1. Temperatura**

La temperatura de trabajo para las soluciones de limpieza en un sistema manual debe de aumentarse en 9% para la solución básica, en 21% para la solución ácida, y en 70% con respecto a la temperatura de trabajo del sistema automático, por tanto, en promedio de ciclo el aumento de temperatura de un ciclo con respecto al otro es de 33% lo cual obviamente genera un recargo en el costo de operación.

### **7.1.2. Concentración**

Las limpiezas manuales comúnmente requieren soluciones de 0.3 al 0.5% mas concentradas que las soluciones de limpieza de los sistemas automáticos, dado que en un proceso de saneamiento manual la lectura de los potenciómetros y las correcciones a realizar a partir de dicha lectura no se realiza en forma automática, lo cual introduce mayores incertezas al sistema de limpieza, las cuales deben cubrirse con una mayor concentración de las soluciones, por el contrario los sistemas cuentan con potenciómetros en línea que detectan cualquier variación en la concentración de la solución y realizan las correcciones necesarias dosificando la cantidad de ácido o base exacta que sea necesaria para mantener el estándar de concentración durante el ciclo de limpieza

### **7.1.3. Tiempo del ciclo**

El CIP consiste en un sistema de limpieza automatizado de líneas de producción en un ciclo cerrado, que se realiza por etapas previamente programadas, con este tipo de sistema de limpieza, como se explicó en capítulos anteriores no es necesario desmantelar las instalaciones del ciclo de producción (desmontaje de tuberías, bombas, tanques de preparación, etc.) como se hace durante la limpieza de tipo manual, lo cual obviamente reduce en gran medida la duración del ciclo de lavado, dicha reducción es de aproximadamente el 31%.

#### **7.1.4. Horas-Hombre**

Toda limpieza ya sea manual o automática requiere de energía mecánica, térmica y química; en el caso de la limpieza manual, la energía mecánica se obtiene por la fricción ejercida por esponjas o cepillos, mientras que en la limpieza automática, como se explicó anteriormente, la fuerza mecánica es proporcionada por la velocidad de las soluciones de limpieza y del agua utilizada durante el ciclo de limpieza.

De lo anterior puede deducirse que en el caso de la limpieza automática, únicamente se necesita a una persona para realizar todas las actividades de limpieza mediante el manejo de un panel de control, mientras que en la limpieza manual son necesarias de 4 personas.

#### **7.1.5. Reutilización de agua y soluciones de limpieza**

En el caso de los ciclos de limpieza manual, la posibilidad de reutilizar el agua es nula, mientras que para un sistema de limpieza automático, la reutilización de este líquido es el principio básico de su rentabilidad.

Para comprender la siguiente explicación es necesario hacer énfasis en la Figura 1, en el cual se indican cada una de las etapas del ciclo de limpieza automatizado, en este tipo de sistemas el enjuague final debe de realizarse con agua potable; para el caso del pre-enjuague, la calidad del agua es obviamente secundaria, dado que este pre-enjuague o primer lavado únicamente sirve para eliminar la mayor cantidad de material orgánico dentro del sistema.

Por tanto si la calidad del agua del enjuague final es buena, puede utilizarse para el pre-enjuague del siguiente ciclo. Es importante tomar en cuenta que la carga orgánica que retorna al CIP durante el enjuague final es relativamente baja comparada con la carga presentada en el pre-enjuague.

Después de la segunda utilización, el agua debe de ser descargada al drenaje, dado que la carga orgánica es grande, de igual forma, el concepto de reutilización puede utilizarse en el enjuague medio. El uso de este ciclo, reduce el consumo de agua en un **40%** comparado con la limpieza manual.

## **7.2. Sistemas CIP característicos de la industria alimenticia**

Previo al análisis de costos para cada sistema de limpieza, es necesario determinar que tipo de sistema CIP es el que se desea adquirir, obviamente de acuerdo a los requerimientos de la línea de producción que se desea sanitizar.

### **7.2.1. Sistema CIP de un tanque**

- Este sistema es capaz de realizar a la vez un único ciclo de limpieza.
- No es costoso.
- Puede adaptarse fácilmente como un sistema de limpieza portable.

**Figura 11. Fotografía de sistema CIP SANIMATIC de un tanque.**



Fuente: Manual técnico de Limpieza en Sitio -CIP-

### **7.2.2. Sistema CIP de dos tanques**

- Permite la reutilización de la solución alcalina y del agua de enjuague.
- Utilizado para reducir la cantidad de agua utilizada durante el ciclo de limpieza y el desperdicio de ésta.
- Un cuarto tanque puede instalarse fácilmente

**Figura 12. Fotografía de sistema CIP SANIMATIC de dos tanques.**



Fuente: Manual técnico de Limpieza en Sitio -CIP-

### **7.2.3. Sistema CIP de tres tanques**

- Permite la reutilización de la solución alcalina y del agua de enjuague.
- Utilizado para reducir la cantidad de agua utilizada durante el ciclo de limpieza y el desperdicio de ésta.
- Un cuarto tanque puede instalarse fácilmente



**Figura 13. Fotografía de sistema CIP SANIMATIC de tres tanques.**



Fuente: Manual técnico de Limpieza en Sitio -CIP-

#### **7.2.4. Sistema CIP de tres tanques tipo dual**

- Tiene capacidad para limpieza simultánea de dos ciclos.
- Ofrece ventajas de almacenamiento de agua y soluciones de limpieza.
- Menor costo (comparando la compra de dos unidades de dos tanques, una para cada ciclo).
- Facilita la centralización de controles

**Figura 14. Fotografía de sistema CIP SANIMATIC de tres tanques con sistema dual.**



Fuente: Manual técnico de Limpieza en Sitio -CIP-

### 7.3. Costos

#### 7.3.1. Sistema de limpieza manual

<b>INVERSIÓN</b>	
Implementos	
Escobas, cepillos para visores, mangueras, contenedores, pistolas para mangueras, mangueras	Q14,700
<b>COSTO OPERACIONAL DE INSUMOS (diario)</b>	
Insumos consumidos en la preparación de las soluciones de limpieza (soda cáustica, agua y detergente neutro)	Q413.47
<b>COSTO PERSONAL OPERATIVO (diario)</b>	
3 operativos y 1 supervisor	Q723.72
<b>COSTO ENERGÉTICOS (diario)</b>	
Energía Eléctrica	Q1,692.00
Bunker	Q957.69
Total energéticos	Q4,649.31

<b>RESUMEN DE COSTOS</b>	
INVERSIÓN	14,700.00
COSTO MENSUAL INSUMOS	12,404.00
COSTO MENSUAL OPERACIÓN PERSONAL	21,711.00
COSTO MENSUAL ENERGÉTICOS	79,490.70
COSTO TOTAL MENSUAL	113,605.00
COSTO TOTAL ANUAL	1,363,260.00

### 7.3.2. Sistema de limpieza automático

<b>INVERSIÓN</b>	
Implementos	
Sistema CIP	Q332,000
<b>COSTO OPERACIONAL DE INSUMOS (diario)</b>	
Insumos consumidos en la preparación de las soluciones de limpieza (soda caústica, agua y solución ácida)	Q95.00
<b>COSTO PERSONAL OPERATIVO (diario)</b>	
1 operativs y 1 supervisor	Q399.84
<b>COSTO ENERGÉTICOS (diario)</b>	
Energía Eléctrica	Q1,039.74
Bunker	Q533.08
Total energéticos	Q1,572.82

RESUMEN DE COSTOS	
INVERSIÓN	Q332,000.00
COSTO MENSUAL INSUMOS	Q2,850.00
COSTO MENSUAL ENERGÉTICOS	Q47,184.60
COSTO TOTAL OPERACIONAL	Q11,995.20
COSTO TOTAL MENSUAL	Q62,029.80
COSTO TOTAL ANUAL	Q744,357.60

### 7.3.3. Análisis VPN

#### 7.3.3.1. Limpieza manual

$$\text{VPN} = \text{Q. } 14,700.00 + \text{Q. } 1,363,260.00 \text{ (P/A, 10\%, 25)}$$

$$\text{VPN} = \text{Q. } 14,700.00 + \text{Q. } 1,363,260.00 (9.077)$$

$$\text{VPN} = \text{Q. } 12,389,011.02$$

#### 7.3.3.2. Limpieza automática

$$\text{VPN} = \text{Q. } 332,000.00 + \text{Q. } 744,357.60 \text{ (P/A, 10\%, 25)} - \text{Q. } 22,000.00$$

$$\text{VPN} = \text{Q. } 332,000.00 + \text{Q. } 744,357.60(9.077) - \text{Q. } 22,000.00$$

$$\text{VPN} = \text{Q. } 7,066,533.93$$

De lo anterior puede concluirse que la elección de un sistema automatizado de limpieza CIP genera un ahorro total mínimo de Q. 5,766,283.41, tomando como vida útil del equipo 25 años, por tanto se tiene un ahorro anual aproximado de:

$$\text{ANUALIDAD} = \text{Q. } 5,766,283.41 \text{ (A/P, 10\%, 25)}$$

$$\text{ANUALIDAD} = \text{Q. } 5,766,283.41 (0.11017)$$

$$\text{ANUALIDAD} = \text{Q. } 635,271.44$$

## **8. FASE DE INVESTIGACIÓN**

### **8.1. Objetivos**

La fase de investigación tiene como objetivo principal dar a conocer las características de ambos sistemas de limpieza, tanto del sistema manual como del sistema automático, y a partir de ello generar juicios que permitan determinar cual de estos resulta tanto técnica como económicamente factible para una industria alimenticia productora de néctares de fruta.

### **8.2. Metodología**

#### **8.2.1. Localizar el campo de investigación**

Como primer paso es necesario localizar una industria alimenticia que se interese en analizar la posibilidad de adquirir equipos de limpieza automatizados para sus líneas de producción bajo la consigna de aumentar sus índices de producción y calidad.

### **8.2.2. Observación**

Una de las principales dificultades al momento de analizar los procedimientos de limpieza manual, es que éste depende en gran medida del equipo de personas que lo realice, ya que luego de observar el ciclo de limpieza 3 veces, llevado a cabo por diferentes equipos de personas, es posible determinar que en ninguna de estas ocasiones el proceso es sistemáticamente igual, las variaciones fueron notorias en todas las etapas del proceso, iniciando con el pesaje de los agentes químicos, disolución de los mismos, desarmado de equipos y tuberías, tiempo de residencia de las soluciones de limpieza y volumen de agua de enjuague, hasta la cantidad de veces que se cepillan las superficies.

Es importante aclarar que al momento de realizar el monitoreo final de los resultados del sistema de saneamiento mediante el sistema Hy-lite todos generaron resultados dentro de estándares permisibles por la FDA.

### **8.2.3. Documentación de cada una de las etapas del sistema de limpieza manual**

Luego de observar cuidadosamente los ciclos de limpieza manual se documentó cada uno de los pasos que se llevaron a cabo durante dicho ciclo, registrándose datos como el peso de los agentes químicos utilizados, volúmenes de agua, temperatura de soluciones y agua de enjuague, de igual forma se tomó nota sistemáticamente de todo el proceso de limpieza, identificando en dicho proceso el orden en el cual debían de llevarse a cabo cada una de las acciones de limpieza y por cuanto tiempo.



De igual forma se registró el tipo de insumos utilizados (cepillos, esponjas, mangueras, etc) y el tiempo promedio que tomaba la limpieza de la línea de producción.

#### **8.2.4. Determinar las características operacionales de la línea de producción en la cual se desea instalar un sistema CIP**

Previo a iniciar un análisis de las ventajas y desventajas que representa la instalación de un sistema automatizado de limpieza dentro de una línea de producción, es necesario contar con diagramas a detalle de dicha línea de producción.

Si no se cuenta con diagramas, como en el caso que actualmente se analiza, es necesario generar la información, nunca basarse en supuestos. Para generar dicha información fue necesario realizar una serie de pasos que se describen a continuación.

- Solicitar al departamento de mantenimiento que provea de toda la información que posea sobre los equipos que forman parte de la línea de producción y recopilarla.
- En este caso en particular, se contaba con mucha información, pero de esta poca era útil ya que en su mayoría se poseía información repetitiva, por lo cual fue necesario depurarla y confirmar los datos a través de la comparación de los mismos con la información detallada en las placas de identificación de los equipos.
- Solicitar al departamento de proyectos todos los manuales de los equipos de la línea de producción ya que gran parte de la información que no fue posible adquirir mediante el departamento

de mantenimiento se obtuvo a través del departamento de proyectos.

- Luego de recopilar toda la información tanto teórica como de campo, se solicitó la colaboración de un técnico en dibujo para trazar todos los tramos de tubería y realizar un bosquejo real de cómo se encuentran ubicados cada uno de los equipos dentro de la línea de producción.

#### **8.2.5. Determinar las variables de proceso óptimas para el funcionamiento de un Sistema CIP.**

La búsqueda de información acerca de las variables de proceso del sistema CIP fue exhaustiva, dado que en Guatemala la información técnica acerca de este tipo de sistemas es escasa. La mayor parte de la información utilizada proviene del *“Manual Técnico de Limpieza en Sitio CIP”*, en este manual se encuentra explicado extensamente la forma en la cual las variables de: Tiempo, temperatura, concentración de las soluciones de limpieza y la turbulencia de estas y del agua de enjuague deben de mantenerse bajo estándares que aseguren la limpieza adecuada de la línea de producción. En la sección ocupada por el marco teórico se encuentran explicadas ampliamente cada una de estas variables.

### **8.2.6. Análisis de los equipos que componen el sistema CIP y de su funcionamiento**

Previo a proponer la implementación de un sistema CIP es necesario conocer a fondo el funcionamiento del mismo, para ello, como se explicó anteriormente es necesario conocer cada una de las variables que forman parte del ciclo de limpieza automatizado, una vez lo anterior se encuentre firmemente sustentado mediante información técnica, es posible determinar cual de todas las opciones de sistemas CIP que se encuentran en el mercado es la adecuada para la línea de producción que se desea sanitizar.

En el mercado, la empresa líder es SANIMATIC, la cual genera la clasificación que se describe a continuación:

- Sistema CIP de un tanque
- Sistema CIP de dos tanques
- Sistema CIP de tres tanques
- Sistema CIP de tres tanques tipo dual.

Al igual que la información de las variables de proceso, las características de cada uno de estos tipos de sistemas CIP se encuentra determinada en la sección ocupada por el Marco Teórico. Una vez esta información sea afianzada es posible generar los criterios que resultaran en la selección de uno u otro sistema CIP

### **8.2.7. Evaluación de accesorios y tuberías**

Luego de conocer las variables del proceso de limpieza automatizado, y a partir de ello determinar el tipo de sistema CIP a instalar, es necesario evaluar cada uno de los equipos que formaran parte no solo del sistema CIP sino de la línea de producción en general, ya que cada uno de estos equipos debe ser de tipo SANITARIO, para ello es necesario revisar las normas básicas de la FDA al respecto de instalaciones sanitarias, las cuales incluyen aspectos como calidad de soldaduras, ángulos de elementos de conexión, diseño de tuberías para su drene adecuado, tipo de acero inoxidable a utilizar, etc.

## **9. FASE TÉCNICO PROFESIONAL**

### **9.1. Objetivos**

Una de las actividades más importantes y que requieren mayor compromiso dentro de una compañía es la selección de proyectos, por tanto el objetivo del ingeniero encargado de la evaluación del proyecto, en este caso del estudiante de EPS, es generar soluciones a los problemas presentados en la industria a través de la implementación de nuevos equipos o procesos, utilizando como base los conocimientos adquiridos durante la formación profesional universitaria.

### **9.2. Metodología**

#### **9.2.1. Determinación del régimen del fluido a través de la tubería mediante el análisis del número de Reynolds.**

De acuerdo a las recomendaciones del fabricante de sistemas CIP “Sanimatic”, todos los cálculos relacionados con la capacidad y la carga del sistema deben de realizarse en base al bombeo de Agua a 20°C, ya que las variaciones con respecto a las otras soluciones de limpieza del sistema son poco significativas, y cualquier variación es absorbida por el término de la eficiencia de bomba, a la cual se recomienda se le de un valor del 60%.

Para realizar el cálculo del número de Reynolds, debe de utilizarse la ecuación.

$$N_{Re} = \frac{\rho VD}{\mu}$$

**Ecuación 1**

$N_{Re}$  = Número de Reynolds

$\rho$  = Densidad

$\mu$ : = Viscosidad

D: = Diámetro del tubo

V: = Velocidad de flujo

En la ecuación 1, el término  $\mu/\rho$  convenientemente es sustituido por  $\nu$ , el cual recibe el nombre de **viscosidad cinemática**, a partir de ello la ecuación 1 se convierte en:

$$N_{Re} = \frac{VD}{\nu}$$

**Ecuación 2**

Según las recomendaciones técnicas, la velocidad del líquido de limpieza debe de encontrarse entre 1.3 y 2 m/s, por tanto se determinó como primera aproximación que la velocidad del agua a través de la tubería de 2.5 pulgadas de diámetro debe de ser 1.5 m/s. La viscosidad cinemática del agua a 20°C es de 1.01261E-6 m<sup>2</sup>/s, sustituyendo estos valores en la **ecuación 2**, se tiene.

$$N_{Re} = \frac{1.5\text{m/s} \cdot 0.0635\text{m}}{1.01261\text{E-}6\text{m}^2/\text{s}}$$

$$N_{Re} = 94,063.85$$

De acuerdo a lo anterior se determina que el flujo dentro de la tubería es de tipo **TURBULENTO**, ya que generalmente a Reynolds mayores de 4,000 se presenta el flujo de este tipo.

### **9.2.2. Determinación del factor de fricción de Fanning.**

Como se menciona anteriormente la diferencia principal entre un sistema de limpieza automatizado y uno manual es la forma en la que se aplica la fuerza mecánica, en el caso de la limpieza automática la fuerza mecánica se transmite al fluido y se disipa en forma de fricción. Una vez determinado el número de Reynolds es posible determinar el factor de fricción de Fanning, a través del uso de la grafica de Número de Reynolds Vrs. Factor de Fanning.

Para el tipo de residuos a tratar en este sistema, el factor  $\epsilon/D$  se toma como 0.004, con este dato y un número de Reynolds de 94,000, el factor de fricción de Fanning es de 0.0075.

### **9.2.3. Determinación de la fricción superficial de la tubería.**

La fricción de la superficie del tubo se determina a través del coeficiente de cizalladura el cual es función de la densidad y de la velocidad.

$$\tau = f \frac{\rho V^2}{2}$$

**Ecuación 3**

$\tau$  = coeficiente de cizalladura

$\rho$  = densidad

$V$  = velocidad

Sustituyendo los valores para el sistema analizado en la ecuación 3, se tiene:

$$\tau = \frac{0.0075 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot (1.5 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$\tau = 8.78 \text{ kg/m} \cdot \text{s}^2 = 8.78 \text{ N/m}^2$$

Es importante tomar en cuenta que de acuerdo a la referencia teórica, el valor **óptimo** para el coeficiente de cizalladura se debe de encontrar entre 8 y 10 N/m<sup>2</sup>, así que de acuerdo a lo anterior es posible determinar que a una velocidad de 1.5 m/s se genera una fuerza de fricción adecuada en la pared de la tubería de la línea de producción

#### **9.2.4. Determinación de la capacidad de la bomba centrífuga impulsora del Sistema CIP.**

Una vez determinada la velocidad de operación es posible determinar la capacidad de la bomba encargada de generar la energía mecánica que se disipará en forma de turbulencia y fricción, así;



$$Q = AV$$

Ecuación 4

Q = Caudal

A = Área

V = Velocidad de flujo

Sustituyendo los datos de proceso en la ecuación 4, se tiene

$$Q = 3.1669E-3E-3m^2 \cdot 1.5m/s \cdot 3,600s/h$$

$$Q = 17.10m^3/h$$

#### 9.2.5. Determinación de la carga de la bomba centrífuga impulsora del Sistema CIP.

Como se explico anteriormente la fricción se manifiesta por la desaparición de energía mecánica; en el flujo con fricción la magnitud  $p/\rho + V^2/2 + gZ$  no es constante a lo largo de una línea de corriente, sino que siempre disminuye en la dirección del flujo y de acuerdo con el principio de conservación de energía, se genera una cantidad de calor equivalente a la perdida de energía mecánica, de esta forma la ecuación de Bernulli se modifica a través de los factores de corrección de energía cinética, a partir de ello la ecuación anterior se convierte en:

$$\frac{p_a}{\rho} + \frac{\alpha_a V_a^2}{2} + gZ_a = \frac{p_b}{\rho} + \frac{\alpha_b V_b^2}{2} + gZ_b + h_f$$

Ecuación 5

$p$  = Presión en  $N/m^2$

$V$  = Velocidad en  $m/s$

$g$  = Aceleración de la gravedad en  $m/s^2$

$Z$  = Altura sobre el plano de referencia en  $m$

$h_f$  = Fricción por unidad de masa

El factor  $h_f$  representa toda la fricción que se produce por unidad de masa del fluido entre los puntos a y b, y se define por medio de la siguiente ecuación:

$$h_f = K_{total} * \frac{V^2}{2}$$

**Ecuación 5**

Donde  $K_{total}$  es

$$\frac{4fL}{D} + K_c + K_e + K_f$$

**Ecuación 6**

$4fL/D$  = Pérdida por fricción en la superficie de un tubo recto

$K_c$  = Pérdida por contracción de la línea

$K_e$  = Pérdida por expansión de la línea

$K_f$  = Pérdida por accesorios

De acuerdo a lo anterior, la ecuación de Bernulli queda expresada en función de los coeficientes de pérdida mediante la ecuación

$$\eta W_p = \frac{p_a - p_b}{\rho} + g(Z_b - Z_a) + \left( \frac{4fL}{D} + K_c + K_e + K_f \right) \frac{V^2}{2}$$

**Ecuación 7**

Como se indico en el marco teórico, un circuito de limpieza de una línea de producción comúnmente se divide en dos ciclos, uno abierto y otro cerrado, para determinar el NSPH requerido para la bomba centrífuga se utiliza como base el cálculo del ciclo cerrado en base al tanque de agua fresca, así que sustituyendo datos en la ecuación anterior se tiene:

$$= g(0.95\text{m} - 0.80\text{m}) + \left( 4 \cdot \frac{0.0075 \cdot 127.5\text{m}}{0.0635\text{m}} + 4 \cdot \frac{0.005 \cdot 3.5\text{m}}{0.0762\text{m}} + 0.1222 + 65.64 \right) \frac{(1.5\text{m/s})^2}{2}$$

$$\eta W_p = 144.2559 \text{ J/kg}$$

$\eta W_p = \text{CARGA TOTAL DESARROLLADA}$

$\eta W_p = \Delta H = H_b - H_a$

$\Delta H = H_b - H_a$

### 9.2.6. Determinación de la Potencia de la bomba

La potencia de la bomba esta dada por la ecuación:

$$P = \frac{\dot{m} \Delta H}{\eta}$$

Ecuación 8

$\dot{m}$  = Flujo másico

P = potencia

Previo a sustituir datos se determina el valor del flujo másico para el sistema, así.

$$\dot{m} = (17.10\text{m}^3/\text{h})(1,000\text{kg}/\text{m}^3) = 17,100 \text{ kg/h}$$

La potencia P es entonces

$$P = \frac{\dot{m} \Delta H}{\eta} = \frac{(17,100\text{kg/h})(144.2559\text{J/kg})}{0.60} = 1,142.03\text{J/s} = 1.142 \text{ kW} = \mathbf{1.53\text{hp}}$$

Para evitar la cavitación es preciso que la presión de entrada de la bomba exceda a la presión de vapor en un cierto valor llamado carga neta de succión positiva (NPSH).

El valor de NPSH es de alrededor de 2 a 3 m (5 a 10ft) para bombas pequeñas, pero el valor aumenta con la capacidad de la bomba, la velocidad del rotor y la presión de descarga. En este caso, en el cual una bomba succiona desde un tanque, el NPSH se calcula así:

$$\text{NPSH} = \frac{1}{g} \left( \frac{p_{a'} - p_v}{\rho} - h_{fs} \right) - Z_a$$

**Ecuación 9**

$p_{a'}$  = presión absoluta en la superficie del depósito.

$p_v$  = presión de vapor

$h_{fs}$  = fricción en la línea de succión

Al sustituir los datos en la ecuación 9 es necesario tomar en cuenta que  $h_a = 1\text{m}$  y  $h_b = 1.2\text{m}$ , al realizar dicha sustitución con el resto de datos se tiene.

$$\text{NPSH} = \frac{1}{g} \left( \frac{101,325 \text{ Pa} + 1628 \text{ Pa}}{1,000 \text{ kg/m}^3} - 4 * 0.005 * \frac{3.5 \text{ m}}{0.0762 \text{ m}} \right) - 1 \text{ m}$$

$$\text{NPSH} = 9.40 \text{ m} = 30.83 \text{ ft}$$

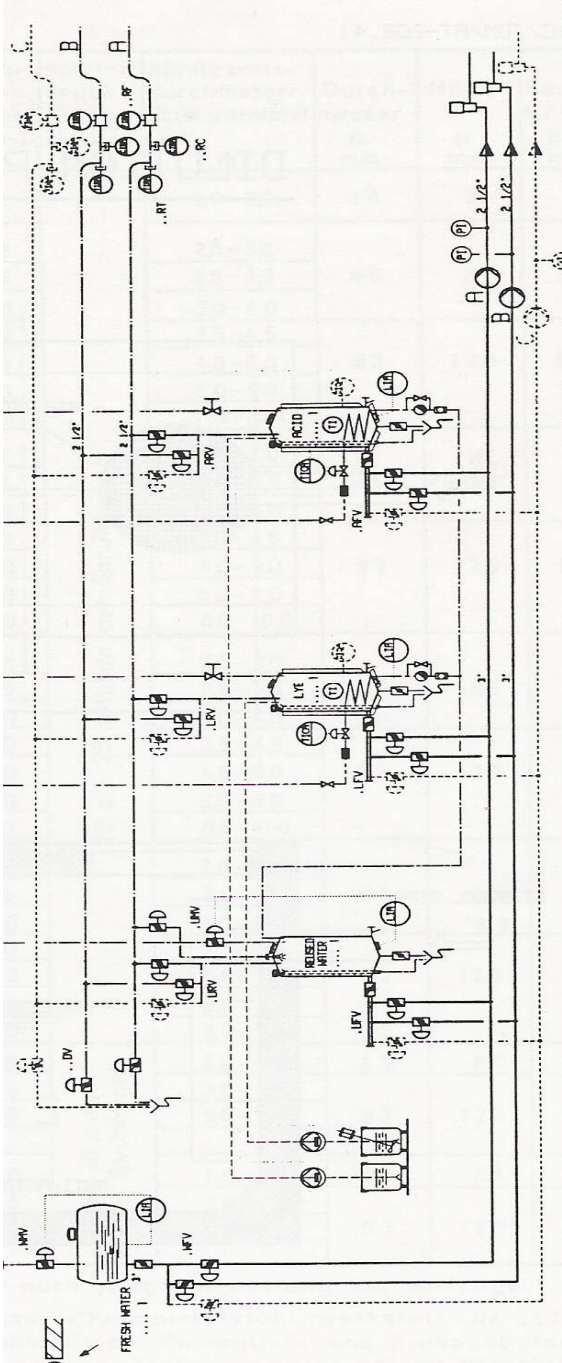
Por tanto la bomba a seleccionar debe de tener un NPSH requerido menor a esta cantidad.

### **9.2.7. Determinación de tiempos, concentraciones y secuencia del ciclo de limpieza para un circuito abierto de limpieza**

Debido a que el ciclo de limpieza fue dividido en circuito abierto y cerrado, es necesario determinar la secuencia para cada uno de ellos, la figura 15 se muestra el diagrama de proceso del sistema CIP.

Esta secuencia debe de incluir cada una de las etapas del ciclo de limpieza: Enjuague inicial, limpieza con solución básica, enjuague intermedio, limpieza con solución ácida y enjuague final. A continuación se presenta cada uno de los pasos para la limpieza de una línea de producción de néctares de frutas, en estas descripciones se hace referencia al diagrama de proceso de un sistema CIP de tres tanques (Figura 15).

Figura 15. Diagrama de proceso de sistema CIP



Fuente: Manual técnico de Limpieza en Sitio -CIP-

#### **9.2.7.1. Etapa 1: Preparación de equipos.**

- Revisar que todos los equipos del sistema CIP se encuentren funcionando correctamente.
- Abrir la válvula de drenaje (DV).

#### **9.2.7.2. Etapa 2: Enjuague inicial.**

- Esta fase tiene como objetivo eliminar la mayor cantidad de residuos de los equipos que se limpiaran.
- Mantener la válvula de drenaje abierta (DV)
- Abrir la válvula de alimentación del tanque de agua de re-uso (UFV).
- Arrancar la bomba de alimentación de soluciones del sistema CIP (FP).
- Arrancar la bomba de retorno de soluciones al sistema CIP (autocebante).

#### **9.2.7.3. Etapa 3: *Push-in* del agua de re-uso.**

El objetivo de esta etapa es empujar toda el agua de re-uso a través de las tuberías, desde la bomba de alimentación hacia el sprayball ubicado en el tanque, esto mediante el flujo de la solución básica de limpieza.

- Mantener abierta la válvula de drenaje.
- Cerrar la válvula de alimentación del agua de re-uso.
- Abrir la válvula de alimentación de solución básica (LFV). Tanto la bomba de alimentación al sistema como la bomba de retorno al tanque CIP deben de mantenerse arrancadas.



#### **9.2.7.4. Etapa 4: Vaciado del tanque de preparación.**

El objetivo de esta fase es el de bombear toda el agua de re-uso que se encuentre en el taque de proceso de la línea. Para ello es importante tomar en cuenta cuál es el diámetro de la tubería que conduce el flujo desde la salida de dicho tanque hacia la bomba de retorno del CIP.

- La válvula de drenaje (DV) permanece abierta.
- Detener la bomba de alimentación del sistema CIP (FP).
- Cerrar la válvula de alimentación de la solución básica (LFV).

#### **9.2.7.5. Etapa 5: *Push-out* del agua de re-uso**

El objetivo de esta etapa es remover toda el agua de re-uso de la línea de retorno del sistema CIP.

- La válvula de drenaje (DV) permanece abierta.
- Reabrir la válvula de alimentación de la solución básica (LFV).
- Arrancar nuevamente la bomba de alimentación de las soluciones del sistema CIP.
- En esta secuencia de pasos, si el potenciómetro (LRC) alcanza la lectura de concentración para la solución básica, la válvula de drenaje (DV) se cierra, y se abre la válvula de retorno de solución básica.

#### **9.2.7.6. Etapa 6: Solución básica**

El objetivo de esta etapa es eliminar al menos 90% de los residuos que se encuentran en los equipos y tuberías de proceso.

- La válvula de alimentación de solución básica (LFV) permanece abierta.
- Mantener abierta la válvula de retorno de solución básica (LRV).
- Mantener arrancada la bomba de alimentación del sistema CIP.
- Es importante activar los sensores de temperatura de retorno al sistema CIP durante esta secuencia.

#### **9.2.7.7. Etapa 7: *Push-in* de la solución básica de limpieza.**

El objetivo de esta etapa es empujar la solución de limpieza a través de las tuberías, desde la bomba de alimentación hacia el sprayball ubicado en el tanque, esto mediante el flujo de agua de re-uso.

- Abrir la válvula de alimentación del agua de re-uso.
- La válvula de retorno de la solución básica debe de permanecer abierta.
- La bomba de retorno hacia el sistema CIP debe de mantenerse arrancada.

#### **9.2.7.8. Etapa 8: Vaciado del tanque de preparación.**

- Detener la bomba de alimentación del sistema CIP.
- Cerrar la válvula de alimentación de agua de re-uso (UFV).
- La válvula de retorno de la solución básica debe de permanecer abierta.

#### **9.2.7.9. Etapa 9: *Push-out* de la solución básica de limpieza.**

- Reabrir la válvula de alimentación de agua de re-uso (UFV).
- Arrancar nuevamente la bomba de alimentación del sistema CIP (FP).

- La válvula de retorno de solución básica (LRV) debe de permanecer abierta hasta que el potenciómetro detecte baja conductividad, en este momento la válvula de drenaje debe abrirse (DV).

#### **9.2.7.10. Etapa 10: Enjuague intermedio.**

El objetivo de este enjuague intermedio es eliminar todos los residuos de la solución básica dentro del equipo de proceso, previo a iniciar la limpieza con la solución ácida, esto con el fin de evitar la neutralización por residuos básicos.

- Mantener abierta la válvula de alimentación de agua de re-uso (UFV).
- Mantener arrancada la bomba de alimentación del sistema (FP).
- Este tiempo debe de ser menor que el tiempo de enjuague inicial.

#### **9.2.7.11. Etapa 11: *Push-in* del agua de re-uso.**

El objetivo de esta etapa es empujar el agua de re-uso a través de las tuberías, desde la bomba de alimentación hacia el sprayball ubicado en el tanque, esto mediante el flujo de la solución ácida de limpieza.

- Abrir la válvula de alimentación de solución ácida (AFV).
- Mantener arrancada la bomba de alimentación del sistema CIP (FP).
- Mantener abierta la válvula de drenaje (DV)

#### **9.2.7.12. Etapa 12: Vaciado del tanque de preparación.**

- Detener la bomba de alimentación del sistema CIP.
- Cerrar la válvula de alimentación de la solución ácida (AFV).
- La válvula de drenaje permanece abierta (DV).

#### **9.2.7.13. Etapa 13: *Push-out* del agua de enjuague intermedio.**

- Reabrir la válvula de alimentación de solución ácida de limpieza (AFV).
- Arrancar nuevamente la bomba de alimentación del sistema CIP.
- Cuando el potenciómetro alcance la lectura de la concentración mínima de la solución ácida de limpieza, la válvula de drenaje se cierra y la válvula de retorno de solución ácida se abre (ARV).

#### **9.2.7.14. Etapa 14: Vaciado del tanque de preparación**

El objetivo de ésta fase es remover todos los residuos de producto que aún quedan luego del ciclo de limpieza con la solución básica.

- La válvula de alimentación de solución ácida permanece abierta (AFV).
- La bomba de alimentación del sistema CIP permanece arrancada.
- La válvula de retorno de solución ácida al sistema CIP debe de mantenerse abierta.
- Durante esta etapa debe de accionarse el control de temperatura de la solución ácida de retorno al sistema CIP.

#### **9.2.7.15. Etapa 15: *Push-in* de la solución ácida**

El objetivo de esta etapa es empujar la solución ácida de limpieza a través de las tuberías, desde la bomba de alimentación hacia el sprayball ubicado en el tanque, esto mediante el flujo de agua fresca.

- Abrir la válvula de alimentación de agua fresca (WFV).
- La bomba de alimentación del sistema CIP permanece arrancada.
- La válvula de retorno de la solución ácida permanece abierta.

#### **9.2.7.16. Etapa 16: Vaciado del tanque de preparación**

- Detener la bomba de alimentación del sistema CIP (FP).
- Cerrar la válvula de alimentación de agua fresca (WFV).
- La válvula de retorno de la solución ácida (ARV) permanece abierta.

#### **9.2.7.17. Etapa 17: *Push-out* de la solución ácida de limpieza**

- La válvula de alimentación del agua fresca debe de volverse a abrir.
- La bomba de alimentación del sistema CIP debe de volverse a arrancar.
- Cuando el potenciómetro registre la lectura programada para el agua fresca, la válvula de retorno de la solución ácida (ARV) debe cerrarse y la válvula de retorno de agua de re-uso (URV) debe de abrirse).

#### **9.2.7.18. Etapa 18: Enjuague final**

El enjuague final debe de asegurar, luego de finalizar el ciclo CIP, estará listo para retomar el ciclo de producción.

- La válvula de alimentación de agua fresca (WFV) permanece abierta.
- La bomba de alimentación del sistema CIP permanece arrancada.
- La válvula de alimentación del agua de re-uso debe de mantenerse abierta.

#### **9.2.7.19. Etapa 19: Vaciado del tanque**

- La bomba de alimentación (FP) del sistema CIP debe de detenerse.
- La válvula de alimentación de agua fresca (WFV) debe de cerrarse.
- La válvula de alimentación del agua de re-uso (URV) debe de permanecer abierta.
- Todos los equipos como bomba de alimentación, bomba de retorno, y otros deben de detenerse una después de la otra de acuerdo al diagrama de flujo.

### **9.2.8. Determinación de tiempos, concentraciones y secuencia del ciclo de limpieza para un circuito cerrado de limpieza**

#### **9.2.8.1. Etapa 1: Preparación de equipos**

- Revisar que todos los equipos del sistema CIP se encuentren funcionando correctamente.
- Abrir la válvula de drenaje (DV).

#### **9.2.8.2. Etapa 2: Enjuague inicial**

- Esta fase tiene como objetivo eliminar la mayor cantidad de residuos de los equipos que se limpiaran.
- Mantener la válvula de drenaje abierta (DV)
- Abrir la válvula de alimentación del tanque de agua de re-uso (UFV).
- Arrancar la bomba de alimentación de soluciones del sistema CIP (FP).
- Arrancar la bomba de retorno de soluciones al sistema CIP (autocebante).

#### **9.2.8.3. Etapa 3: *Push-out* del agua de re-uso**

El objetivo de esta etapa es remover toda el agua de re-uso de la línea de retorno del sistema CIP.

- La válvula de drenaje (DV) permanece abierta.
- Reabrir la válvula de alimentación de la solución básica (LFV).
- Arrancar nuevamente la bomba de alimentación de las soluciones del sistema CIP.
- En esta secuencia de pasos, si el potenciómetro (LRC) alcanza la lectura de concentración para la solución básica, la válvula de drenaje (DV) se cierra, y se abre la válvula de retorno de solución básica.

#### **9.2.8.4. Etapa 4: Solución básica**

El objetivo de esta etapa es eliminar al menos 90% de los residuos que se encuentran en los equipos y tuberías de proceso.

- La válvula de alimentación de solución básica (LFV) permanece abierta.

- Mantener abierta la válvula de retorno de solución básica (LRV).
- Mantener arrancada la bomba de alimentación del sistema CIP.
- Es importante activar los sensores de temperatura de retorno al sistema CIP durante esta secuencia.

#### **9.2.8.5. Etapa 5: *Push-out* de la solución básica de limpieza**

- Reabrir la válvula de alimentación de agua de re-uso (UFV).
- Arrancar nuevamente la bomba de alimentación del sistema CIP (FP).
- La válvula de retorno de solución básica (LRV) debe de permanecer abierta hasta que el potenciómetro detecte baja conductividad, en este momento la válvula de drenaje debe abrirse (DV).

#### **9.2.8.6. Etapa 6: Enjuague intermedio**

El objetivo de este enjuague intermedio es eliminar todos los residuos de la solución básica dentro del equipo de proceso, previo a iniciar la limpieza con la solución ácida, esto con el fin de evitar la neutralización por residuos básicos.

- Mantener abierta la válvula de alimentación de agua de re-uso (UFV).
- Mantener arrancada la bomba de alimentación del sistema (FP).
- Este tiempo debe de ser menor que el tiempo de enjuague inicial.



#### **9.2.8.7. Etapa 7: *Push-out* del agua de enjuague intermedio**

- Reabrir la válvula de alimentación de solución ácida de limpieza (AFV).
- Arrancar nuevamente la bomba de alimentación del sistema CIP.
- Cuando el potenciómetro alcance la lectura de la concentración mínima de la solución ácida de limpieza, la válvula de drenaje se cierra y la válvula de retorno de solución ácida se abre (ARV).

#### **9.2.8.8. Etapa 8: Enjuague con solución básica**

El objetivo de ésta fase es remover todos los residuos de producto que aún quedan luego del ciclo de limpieza con la solución básica.

- La válvula de alimentación de solución ácida permanece abierta (AFV).
- La bomba de alimentación del sistema CIP permanece arrancada.
- La válvula de retorno de solución ácida al sistema CIP debe de mantenerse abierta.
- Durante esta etapa debe de accionarse el control de temperatura de la solución ácida de retorno al sistema CIP.

#### **9.2.8.9. Etapa 9: *Push-out* de la solución ácida de limpieza**

- La válvula de alimentación del agua fresca debe de volverse a abrir.
- La bomba de alimentación del sistema CIP debe de volverse a arrancar.
- Cuando el potenciómetro registre la lectura programada para el agua fresca, la válvula de retorno de la solución ácida (ARV) debe cerrarse y la válvula de retorno de agua de re-uso (URV) debe de abrirse).

#### 9.2.8.10. Etapa 10: Enjuague final

El enjuague final debe de asegurar, luego de finalizar el ciclo CIP, estará listo para retomar el ciclo de producción.

- La válvula de alimentación de agua fresca (WFV) permanece abierta.
- La bomba de alimentación del sistema CIP permanece arrancada.
- La válvula de alimentación del agua de re-uso debe de mantenerse abierta.

#### 9.2.9. Determinación de tiempos del ciclo de limpieza

Como puede observarse en la sección 9.2.7, los ciclos de limpieza abiertos constan de 5 etapas principales:

**Tabla VI. Etapas del ciclo de limpieza.**

Etapa	Fase
1	Enjuague inicial
2	Solución básica
3	Enjuague intermedio
4	Solución ácida
5	Enjuague final

Fuente: Manual técnico de Limpieza en Sitio -CIP-

Estas a su vez constan de 3 etapas secundarias que se repiten para cada una de las etapas principales, las etapas secundarias son: Push-in, vaciado del tanque de procesos y Push out, así que basta con realizar el calculo del tiempo consumido para cada una de éstas.

Como primer paso es necesario determinar el flujo volumétrico (Q) del sistema, de acuerdo a cálculos realizados anteriormente se sabe que  $Q = 17,000 \text{ l/h}$ , a partir de ello, la velocidad dentro de una tubería de  $2 \frac{1}{2}$  pulgadas de diámetro es de  $1.5\text{m/s}$  y dentro de una tubería de 3 pulgadas de diámetro es de  $1.04\text{m/s}$ .

#### 9.2.9.1. Cálculo de tiempo en la etapa 3

El tiempo consumido en esta etapa se calcula de la siguiente forma:

$$t = \frac{\text{Longitud de tubería desde la bomba de alimentación hasta el sprayball}}{\text{Velocidad}}$$

Ecuación 10

$$t = \frac{45.8\text{m}}{1.5\text{m/s}} = 30.53 \text{ s}$$

#### 9.2.9.2. Cálculo de tiempo en la etapa 4

Este es el tiempo necesario para que el fluido sea transportado desde la salida del tanque de proceso hasta la entrada de la bomba de retorno del sistema CIP, el cálculo se realiza de la siguiente forma:

$$t = \frac{\text{Longitud de la tubería que conecta la salida del tanque de proceso hacia la entrada de la bomba de retorno del sistema CIP}}{\text{Velocidad de flujo en una tubería de 3 pulgadas de diámetro}}$$

Velocidad de flujo en una tubería de 3 pulgadas de diámetro

**Ecuación 11**

$$t = \frac{8\text{m}}{1.04\text{m/s}} = 7.7 \text{ s}$$

Es necesario tomar en cuenta que además del fluido que se encuentra en el tramo entre la salida del tanque de proceso y la bomba de retorno, se tiene fluido en tránsito, el cual generalmente se estima en  $0.2\text{m}^3$ , para calcular el tiempo necesario para vaciar este volumen se tiene:

$$t = \frac{\text{Volumen en tránsito}}{\text{Flujo volumétrico (Q)}} = \frac{0.2\text{m}^3}{0.00475} = 42.10\text{s}$$

A partir de lo anterior se puede determinar que el tiempo total necesitado en esta etapa es de 49.8s

### **9.2.9.3. Cálculo de tiempo en la etapa 5**

Este tiempo es el necesario para que la solución de limpieza sea transportada desde la bomba de retorno del sistema CIP hacia la línea de retorno del sistema CIP donde se encuentra ubicado el potenciómetro. El cálculo se realiza de la siguiente forma:

$$t = \frac{\text{Longitud de tubería desde la bomba de retorno hasta el potenciómetro}}{\text{Velocidad}}$$

**Ecuación 12**

$$t = \frac{50.1\text{m}}{1.5\text{m/s}} = 33.4\text{s}$$

El tiempo total ocupado en estas 3 etapas es 106.03s o 1.77min, en las 5 etapas es un total de **8.84 min.**



## **10. FASE DOCENTE**

### **10.1. Objetivos**

Se llevó a cabo la capacitación de dos grupos, el primero conformado por veintitrés estudiantes de Ingeniería Química del curso IPI 1, y el segundo grupo se encontraba formado por 8 personas pertenecientes al plantel operativo de Alimentos Kern de Guatemala.

A continuación se describen los principales objetivos que generaron la necesidad de realizar la serie de capacitaciones efectuadas para los estudiantes de Ingeniería Química en el mes de Octubre del año 2006:

- 10.1.1.** Integrar gradualmente a los estudiantes de Ingeniería Química dentro de las nuevas tendencias tecnológicas con respecto a la sanitización de líneas de producción en la industria alimenticia.
  
- 10.1.2.** Generar interés en los estudiantes por adquirir conocimientos acerca de sistemas manuales y automatizados de limpieza de líneas de producción que deberán de conocer, comprender, manejar y ser capaces de modificar al momento de iniciarse en el ámbito laboral, principalmente los estudiantes interesados en pertenecer a las industrias productoras de alimentos.

**10.1.3.** Crear la conciencia en los estudiantes que como ingenieros químicos hay muchas oportunidades en las cuales pueden desarrollarse y crecer profesionalmente, el saneamiento de líneas de producción es un campo poco conocido, pero con mucho futuro para el ingeniero químico visionario.

La capacitación del personal operativo dedicado al saneamiento de líneas de Producción de Alimentos Kern de Guatemala, fue un proceso extenso, ya que a partir de la observación de las actividades realizadas por ellos mismos, la documentación de éstas y su posterior análisis fue posible determinar las mejoras necesarias que debían de realizarse en las actividades de limpieza manual de las líneas de producción para luego comparar los resultados de esta con los resultados esperados de la implementación de un sistema CIP, los principales objetivos de la capacitación son:

- Hacer notar al personal encargado de la sanitización de líneas de producción que las actividades realizadas durante la sanitización manual de las líneas de producción estaban siendo analizadas para detectar cuales de ellas se realizaban correctamente, cuales debían modificarse y cuales debían cambiarse por completo.
- Proveer al personal operativo de un procedimiento estructurado para el saneamiento manual de líneas de producción, evitando así ambigüedades que puedan generar deficiencias en el resultado final.
- Informar al personal de los resultados positivos obtenidos a partir de la optimización de la limpieza manual de línea de producción.



- Hacer del conocimiento del personal que los resultados obtenidos podían mejorarse aún más al adquirir un sistema de limpieza automatizado.
- Presentar los conceptos básicos del sistema CIP, ¿Qué es?, ¿Cómo funciona?, ¿Qué resultados se esperan con la implementación del sistema automatizado? ¿Qué ventajas representa para el personal operativo?

## **10.2. Metodología**

### **10.2.1. Grupo de estudiantes de Ingeniería Química.**

10.2.1.1. Con la ayuda de la Inga. Lorena Pineda se determinó que el grupo de estudiantes de Ingeniería Química que formaría parte del proceso de capacitación serían los alumnos pertenecientes al curso de IPI 1 del segundo semestre del año 2006.

10.2.1.2. Conjuntamente con la Inga. Lorena Pineda se llevó a cabo la logística de las capacitaciones, determinándose que debido a lo extenso de los tópicos sería necesario dividir la actividad en 3 capacitaciones que se llevarían a cabo en el mes de octubre del año 2006.

10.2.1.3. Los temas a tratar en cada una de las capacitaciones se dividieron de la siguiente forma:

- **Capacitación 1.** En esta capacitación se analizan las inquietudes del estudiante con respecto al ámbito laboral, en qué áreas cree que pueda desempeñarse con éxito en un futuro, y en qué empresas desea trabajar al momento de graduarse. Luego de conocer estas inquietudes se concentra al estudiante en el campo de la industria alimenticia.
  
- **Capacitación 2.** Con una base lo suficientemente sólida con respecto a las generalidades de la industria alimenticia, se ahonda en temas de regulación y control de calidad de la industria alimenticia, entre ellas las más comunes son las buenas prácticas de manufactura (BPM's), al afianzar este conocimiento se inicia con el tema del saneamiento de líneas de producción por medio de métodos manuales, y generalidades de los sistemas automatizados.
  
- **Capacitación 3.** En esta capacitación se profundiza en el análisis técnico de los sistema CIP, en éste se analizan los diferentes equipos y funcionamiento de los mismos.

10.2.1.4. Previo a cada capacitación se realiza una encuesta en la cual se presentan cuestionamientos sobre generalidades de los temas a tratar, esto con el fin de determinar el conocimiento previo de los estudiantes acerca de los estos temas.

10.2.1.5. Al finalizar cada capacitación se procede a llevar a cabo una evaluación con preguntas básicas de los temas tratados.

10.2.1.6. Se recopilan los resultados de todas las encuestas y evaluaciones.

10.2.1.7. Se permite al final de cada capacitación una sesión de preguntas orales con el fin de esclarecer cualquier duda suscitada ya sea durante la capacitación o al realizar la evaluación final.

#### **10.2.2. Personal operativo de saneamiento de Alimentos Kern de Guatemala.**

10.2.2.1. Luego de realizar las observaciones de los procedimientos de limpieza efectuados por el personal de saneamiento, se procedió a revisarlos con el Jefe de Saneamiento y determinar conjuntamente las mejoras a implementar.

10.2.2.2. Al momento de contar con un procedimiento de sanitización estructurado se procedió a documentarlo y someterlo a la aprobación del Gerente de Control de Calidad Lic. Julio César Flores, el cual luego de revisarlo procedió a aprobarlo. Este procedimiento forma parte del Manual de Calidad de Alimentos Kern de Guatemala.

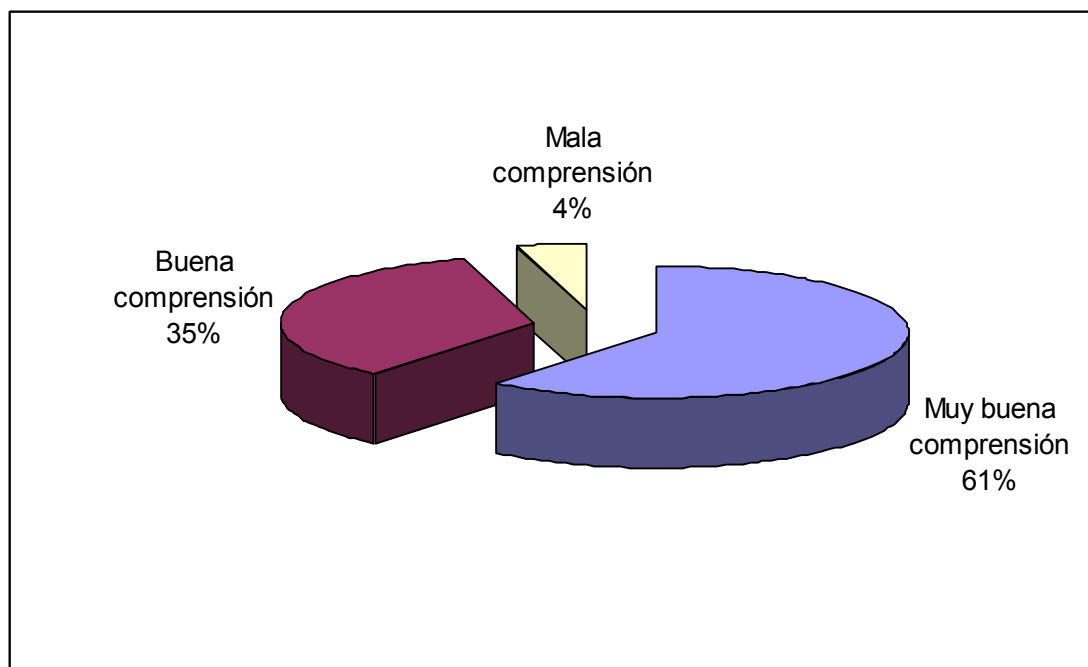
10.2.2.3. Con toda la documentación aprobada se procedió a reunir a todo el personal de saneamiento para capacitarlos sobre el procedimiento estandarizado de limpieza manual.

- 10.2.2.4. Al final de la sesión se tuvo un periodo de tiempo de preguntas y respuestas para que cada uno de los integrantes del equipo de saneamiento pudieran expresar sus impresiones acerca de las modificaciones realizadas.
- 10.2.2.5. Los resultados obtenidos se monitorearon durante el mes de marzo y abril, optimizando como se esperaba, la limpieza de las líneas de producción, facilitando así el inicio de la siguiente fase, un sistema de limpieza automatizado CIP.
- 10.2.2.6. Al finalizar la instalación del equipo CIP se procedió a realizar una capacitación durante 2 días distribuidos así
- Día 1: Entrega de manuales y explicación teórica de los procesos.
  - Día 2: Capacitación práctica en la línea de producción.
- 10.2.2.7. Al finalizar la capacitación práctica se llevó a cabo una serie de cuestionamientos, los cuales se respondieron en su totalidad.

### 10.3. Resultados

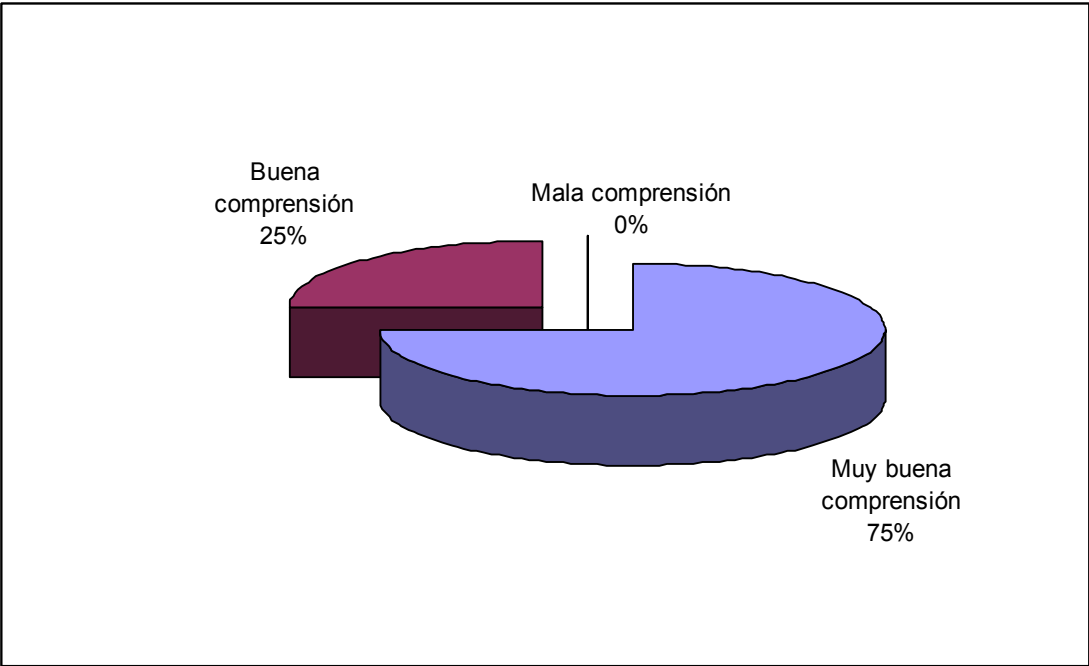
#### 10.3.1. Estudiantes de Ingeniería Química

Figura 16. Gráfico porcentual de comprensión del tema.



10.3.2. Personal operativo

Figura 17. Gráfico porcentual de comprensión del tema.



## CONCLUSIONES

1. Previo a implementar un sistema de limpieza automático es necesario realizar un análisis técnico-económico de acuerdo a la línea de producción que se desea limpiar, ya que generalmente en una línea de producción simple o muy pequeña basta con optimizar la limpieza manual, pero en el caso de líneas de producción complejas, como en el caso tratado en los capítulos anteriores, es necesaria la implementación de un sistema de limpieza automatizado.
2. Para obtener un sistema de limpieza automatizado funcional, tanto tecnológica como económicamente, es necesario conocer y determinar las variables de operación de este sistema de acuerdo con los estándares establecidos de tiempo, temperatura, velocidad y concentración.
3. Un sistema de limpieza automatizado CIP implementado en una línea de producción estándar de fabricación de néctares en la industria guatemalteca, que cumpla con todos los lineamientos de diseño y operación, SIEMPRE será más rentable que un sistema de limpieza manual, ya que un sistema de limpieza automatizado genera un 35% de ahorro anual en la operación de la línea de producción, lo cual básicamente se debe a los ahorros en energía, agentes químicos y agua.

4. Las nuevas leyes de conservación del medio ambiente, que exigen a las plantas productoras ser responsables por el agua de desecho que generan es una razón más para implementar un sistema CIP, ya que una de las ventajas de este es la reutilización del agua y de soluciones de limpieza. Por tanto el consumo de agua es reducido en un 35% y el hecho de mantener una purga periódica de estas soluciones en un único punto permite controlar las descargas de las mismas a los drenajes y por ende facilitar su tratamiento previo a que sean descargadas.



## RECOMENDACIONES

1. Previo a iniciar la implementación de un sistema de limpieza automatizado CIP, es necesario determinar las características de la línea de producción que se desea sanitizar, ya que cada una de estas presenta diferentes detalles que pueden ser cruciales al momento de operar este tipo de sistemas. Es necesario familiarizarse con los sistemas CIP básicos, a partir de los cuales se pueden obtenerse infinidad de variaciones, lo más importante es determinar ¿Qué desea limpiar? y sobre todo ¿Qué tan rápido lo desea limpiar?, una vez respondidos estos cuestionamientos es mucho más sencillo la elección del sistema.
2. Para elegir correctamente el tipo de sistema CIP que se desea utilizar es importante tener completamente claro todas las bases técnicas que se encuentran vinculadas a estos sistemas y determinar un presupuesto para el proyecto, ya que a partir de ello puede realizarse un análisis técnico-económico confiable.
3. Dentro del análisis económico de implementación de un sistema CIP debe de tomarse en cuenta, si en una línea de producción que no fue diseñada para estos sistemas, todos los cambios que hay que realizarle y los costos que dichos cambios representan. Los casos más usuales son cambios de bombas, válvulas e instalación de *spray balls* en tanques de abastecimiento.




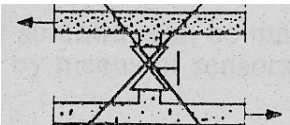
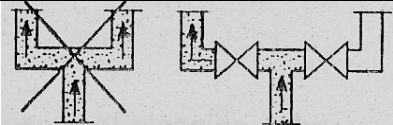
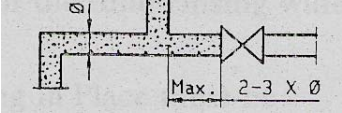
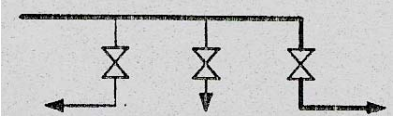
## BIBLIOGRAFÍA

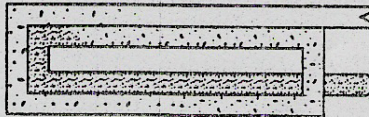
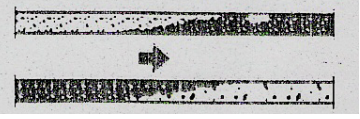
1. H.G. Kessler. **Food Engineering and Dairy Technology**. (Alemania; Editorial de la Universidad de Munich, 1985) pp. 35-59, 99-144 y 162-178.
2. J. Mendoza D. **Manual técnico de limpieza en sitio -CIP-**. (México D.F.; s.e, 1993).
3. R. Jowitt. **Fouling and Cleaning in Food Processing**. (Estados Unidos de América; Editorial de la Universidad de Wisconsin-Mandison, 1990) pp. 67-72.



## ANEXOS

### A. REGLAS BÁSICAS PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA CIP

1	Las soluciones de limpieza deben de tener contacto con todas las superficies que interaccionan con el producto	
2	Nunca separar las soluciones de limpieza con el producto por medio de una válvula	
3	El buen diseño del CIP es el resultado de la aplicación de la ley de las "4T"	<p>Temperatura: 75C</p> <p>Turbulencia: 1.5 m/s</p> <p>Titrición: 1.5%</p> <p>Tiempo: 15 min</p>
4	Nunca dividir el flujo del CIP en dos corrientes en paralelo	
5	Los puntos muertos no deben de exceder los 2 ó 3 diámetros de tubería	
6	La distribución del caudal de las soluciones de limpieza debe de realizarse mediante válvulas	

7	El reutilizar las soluciones del enjuague final para iniciar el lavado del siguiente ciclo reduce el consumo de agua en un 50%	
8	La limpieza debe de realizarse inmediatamente después de finalizar la producción, mientras que la esterilización debe de realizarse antes de la producción	

## **B. Dimensionamiento de los equipos del sistema CIP**

### **B.1. Tanques**

Los parámetros que se evalúan para determinar el volumen de los tanques de la estación CIP son.

- Número de grupos CIP.
- Capacidad de las bombas para cada grupo.
- Volumen de los tanques que contienen las soluciones de limpieza.
- Programas de limpieza.

Los cuatro parámetros listados anteriormente dependen del tipo de instalaciones que se desean limpiar y de los siguientes criterios.

- Número total de circuitos (volumen interno)
- Tipos de circuitos.
- Frecuencia de limpieza.

Para llevar a cabo el cálculo del volumen necesario de los tanques de almacenamiento es preciso realizar un análisis de los aspectos que se listan a continuación.

- Determinar el mayor número de circuitos que necesiten limpiarse al mismo tiempo.
- Calcular el mayor volumen interno para los circuitos.
- Agregar junto a todos estos volúmenes el mayor flujo que se encuentre circulando en el sistema que se está limpiando.

- Agregue un factor de seguridad del 50% del volumen calculado. El volumen acumulado en los tanques debe de corresponder a los cálculos indicados anteriormente.

El volumen del tanque de agua fresca depende del sistema de alimentación de agua, este volumen corresponde cerca del 50% del volumen calculado anteriormente; a continuación se presenta un ejemplo de cálculo:

Circuitos a limpiar en paralelo: 4	
Mayor volumen del circuito (Grupo A)	230 litros
Mayor volumen del circuito (Grupo B)	490 litros
Mayor volumen del circuito (Grupo C)	750 litros
Mayor volumen del circuito (Grupo D)	1250 litros
Volumen total .....	2720 litros
Volumen de los tanques de solución	4000 litros
Volumen del tanque de agua reutilizada	4000 litros
Volumen de agua fresca	2000 litros

Si los tanques de solución están equipados con serpentines para calentamiento, es necesario agregar el volumen del mismo al momento de realizar los cálculos presentados anteriormente.



### **B.1.1 Número de grupos y circuitos**

El número de circuitos que se necesitan limpiar está ligado directamente con la programación generada por los encargados de logística de la planta de producción.

La identificación de cada uno de los circuitos es realmente necesaria, y cada uno de los grupos debe estar codificado en forma alfanumérica (A, B, C, D, etc), de igual forma cada una de las unidades de estos grupos se codifican de la misma manera (1, 2, 3, etc.). Por ejemplo A2, significa que se desea limpiar el 2do circuito del grupo A.

**Es importante tomar en cuenta que únicamente uno de los circuitos de cada grupo puede ser limpiado simultáneamente.**

### **B.1.2. Capacidad de bombeo**

La capacidad de las bombas de alimentación para cada grupo de limpieza está determinada por las caídas de presión en los circuitos, lo cual es función obviamente de las necesidades del mayor circuito en cuestión. Cada circuito tiene diferentes características de bombeo. Las bombas de alimentación son dimensionadas de acuerdo a diagramas que muestran las caídas de presión en tuberías como función de la velocidad del fluido. Ver anexo 2, diagramas de caídas de presión.

## **B.2. Tipo de sistema CIP elegidos**

De acuerdo a la información obtenida de diversas fuentes, es necesario utilizar ambos tipos de sistema CIP, tanto el abierto como el cerrado, el sistema abierto queda limitado al tanque de abastecimiento y la bomba de desplazamiento positivo, mientras que el sistema cerrado al resto de tubería, la cual no presenta caídas bruscas de presión.

## **B.3. Elección de condiciones de temperatura y concentración**

Para determinar las condiciones ideales de temperatura y concentración deben de seguirse las indicaciones de la figura 4.