

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Reingeniería del Sistema de Limpieza y Sanitización por el Método
CIP para las Envasadoras de Bebidas Gaseosas”

TESIS DE GRADO

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO DE ALIMENTOS

Presentada por:

Luis Manuel Crespo Reyes

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2009

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que
de un modo u otro
colaboraron en la
realización de este
trabajo y especialmente
a mi Padre Dios

DEDICATORIA

A mi papi Lucho
que está en el cielo,
a mi madre Libia,
a Zayra, mi esposa
y a Dome, mi pedazo de cielo en la tierra.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Luis Miranda S.
DELEGADO DEL DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Karín Coello O.
DIRECTORA DE TESIS

Ing. Grace Vásquez V.
VOCAL

Ing. Carmen Llerena R.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de ésta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

Luis Manuel Crespo Reyes

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGÍA.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	VI
INDICE DE TABLAS.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES.....	4
1.1 Proceso de fabricación de bebidas gaseosas.....	4
1.2 Sistemas de limpieza y sanitización empleados en la industria alimentaria.....	6
1.3 Residuos y microorganismos contaminantes en la industria de bebidas gaseosas.....	9
1.4 Sistema propuesto de limpieza y sanitización CIP Frío.....	11
CAPÍTULO 2	

2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE LIMPIEZA CIP FRÍO EN LA INDUSTRIA DE BEBIDAS GASEOSAS.....	16
2.1 Evaluación y diagnóstico del proceso de limpieza actual.....	16
2.1.1 Registro del estado actual.....	17
2.2 Requerimientos del sistema propuesto de limpieza en frío.....	20
2.2.1 Materiales y equipos.....	20
2.2.2 Formulación de detergentes y sanitizantes.....	22
2.2.3 Pruebas experimentales.....	33
2.3 Implementación del sistema propuesto de limpieza CIP Frío.....	49

CAPITULO 3

3. ANÁLISIS COMPARATIVO Y RESULTADOS.....	53
3.1. Parámetros de uso y control.....	53
3.1.1. Físico-Químicos.....	54
3.1.2. Microbiológicos.....	55
3.1.3. Organolépticos	65
3.2. Costos.....	68

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES	Y
RECOMENDACIONES.....	71

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

b/min.	Botellas por minuto
C.I.P	(Clean in place) Limpieza en Circuito cerrado
DQO	Demanda Química de Oxígeno
gr.	Gramo
G	Grupo
Kg.	Kilogramo
kPa	Kilo Pascal
kg/h	Kilogramo por Hora
kg/m ³	Kilogramo por metro cúbico
L3	Línea 3
m	Metro
meq	Miliequivalente
min.	Minutos
ml.	Mililitro
mm.	Milímetro
m/s	Metro por segundo
m ³	Metro cúbico
m ³ /h	Metro cúbico por hora
PA	En función de la programación de aseo
PLC	Programa de Control en Línea
SL	Súper línea

SIMBOLOGÍA

A	Área
AISI	Norma Internacional de Composición de Acero
ATP	Adenosíntrifosfato
bar	Medida de Presión
BHP	Caballos de Vapor
c	Capacidad de vapor saturado.
CaCO ₃	Carbonato de Calcio
c _p	Calor Especifico a Presión Constante
CO ₂	Dióxido de Carbono
e	Espesor del aislamiento
h	Altura
H ₂ O	Agua
h _{fg}	Entalpía del Vapor Saturado
KJ	Kilo jouls
m	Masa de agua
N	Newton
NaHCO ₃	Carbonato de Sodio
NaOH	Hidróxido de Sódio
N*s/m ²	Unidad de Viscosidad Dinámica
p	Presión
pH	Grado de acidez o alcalinidad de una disolución
ppm	Parte por millón
p/p	Peso por peso
Q	Caudal de Flujo
Re	Número de Reynolds
RLU's	Concentración de adenosin tri fosfato
t	Tiempo
T	Temperatura
\bar{T}	Temperatura promedio
UFC/g	Unidad Formadora de Colonias por gramo
v	Velocidad
V	Volumen
v/v	Volumen/volumen
W	Energía Calorífica
ΔT	Diferencial de Temperatura
ρ	Densidad
φ	Diámetro
°C	Grados Centígrados
°K	Grados Kelvin

μ	Viscosidad Dinámica Absoluta
π	3.1416
θ_e	Diámetro externo
θ_i	Diámetro interno

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Diagrama de Flujo de Bebidas Gaseosas.....	5
Figura 1.2 Variables de Sinner.....	12
Figura 2.1 Tanque CIP con Spray Ball o Tubos Rotatorios.....	18
Figura 2.2 Componentes del Proceso CIP.....	21
Figura 2.3 Modo de Acción del Detergente sobre una Superficie a Limpiar.....	24
Figura 2.4 Microorganismos Removidos vs. Concentración de Detergente.....	26
Figura 2.5 Modo de Acción del Detergente.....	30
Figura 3.1 Porcentaje de Aceptación de Aerobios Totales.....	59
Figura 3.2 Porcentaje de Aceptación de Mohos y Levaduras.....	62
Figura 3.3 Porcentaje de Aceptación de Coliformes Totales.....	65
Figura 3.4 Porcentaje de Calificación en Análisis Organoléptico.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Concentraciones de Carbonato de Calcio.....22
Tabla 2	Formulación del Detergente Ácido.....25
Tabla 3	Esquema de Limpieza con Método de CIP Actual.....33
Tabla 4	Sistema de Limpieza CIP Frío.....47
Tabla 5	Programa de Capacitación.....50
Tabla 6	CIP Frío en Envasadoras: Plan de Implementación.....51
Tabla 7	Resultado Físico-Químico entre los dos Métodos CIP.....55
Tabla 8	Resultados obtenidos en Aerobios Totales con el Sistema CIP Actual.....57
Tabla 9	Resultados obtenidos en Aerobios Totales con el Sistema CIP Frío propuesto.....57
Tabla 10	Porcentaje de Calificación de Aerobios Totales en los dos Métodos CIP.....58
Tabla 11	Resultados obtenidos en Mohos y Levaduras con el Sistema CIP Actual.....60
Tabla 12	Resultados obtenidos en Mohos y Levaduras con el Sistema CIP Frío propuesto.....61
Tabla 13	Porcentaje de Calificación de Mohos y Levaduras en los dos Métodos CIP.....61
Tabla 14	Resultados obtenidos en Coliformes Totales con el Sistema CIP Actual.....63
Tabla 15	Resultados obtenidos en Coliformes Totales con el Sistema CIP Frío propuesto.....63
Tabla 16	Porcentaje de calificación de Coliformes Totales en los dos Métodos CIP.....64
Tabla 17	Porcentaje de calificación en Muestras de Agua tomadas al Final de la Limpieza.....66
Tabla 18	Análisis Comparativo de Costos por Envasadora.....69
Tabla 19	Comparación de Tiempos entre los dos Métodos CIP.....70

RESUMEN

El presente trabajo inicia detallando las generalidades del proceso de fabricación de bebidas gaseosas, describe los sistemas de limpieza y sanitización actuales, así como los residuos y microorganismos que se acumulan al finalizar el proceso de envasado. Con éstas características se procede a diseñar el método de limpieza propuesto, denominado CIP Frío.

Luego se hace una evaluación para conocer las condiciones del sistema actual para ajustarlo al sistema propuesto, seleccionando materiales y equipos, determinando los detergentes y sanitizantes, haciendo las pruebas experimentales en ambos métodos, e implementando el sistema propuesto de limpieza.

Por último, se hace un análisis comparativo en ambos sistemas de limpieza y se llega a la conclusión de que se redujo el costo total de limpieza en un 46%. Aunque en el costo del detergente existe un incremento del 57%, se compensa con una disminución del uso del agua en un 40%, del desinfectante en un 67%, en la mano de obra en un 80% y en un 100% en el tratamiento de aguas residuales a la planta de efluentes.

Además existe una mayor disponibilidad de la línea de envasado, ya que se logró reducir el tiempo de 180 minutos a 35 minutos, es decir, un 80% de ahorro del tiempo en la limpieza.

INTRODUCCION

La presente tesis trata del diseño de un sistema de limpieza aplicado a una planta envasadora de bebidas gaseosas, que se denominará CIP Frío, que difiere del actual que emplea temperaturas superiores a los 60°C. Este sistema se realiza a temperatura ambiente y no se utiliza calor en este proceso de limpieza y sanitización de equipos. En estas industrias es muy importante la optimización en el proceso de limpieza, debido a que se necesita alargar el volumen de producción que alcanza velocidades de envasado de 1300 botellas por minuto, por lo que, una mala limpieza echaría a perder grandes cantidades de dinero.

El presente proyecto dará una clara idea de las ventajas y la conveniencia de tener el CIP Frío en industrias que envasan bebidas, teniendo un alcance a equipos de envasado que no superen los 25°C, es decir, a temperatura ambiente.

Para la implantación de esta tecnología, se parte de los parámetros o normas de calidad que exige la compañía, donde se evalúan los equipos y elementos más idóneos para balancear la línea y adaptarlas a este nuevo sistema.

En la actualidad las envasadoras de bebidas gaseosas poseen un sistema CIP tradicional que consta de varias etapas. En este estudio las llenadoras se limpian una vez por semana y consta de los siguientes pasos:

- 1.- Un pre-enjuague por 30 minutos con agua potable a una temperatura ambiente.
- 2.- Una limpieza alcalina con Hidróxido de Sodio, conocido como soda, a una concentración de 2.5% por 60 minutos a una temperatura de 70 a 80°C.
- 3.- Un enjuague intermedio por 30 minutos con agua potable a 80°C.
- 4.- Desinfección por 60 minutos con agua potable a 80 °C.

Estas formas de limpieza son las que se van a modificar trayendo consigo un ahorro de recursos y tiempo, mejorando la eficiencia para el envasado así como disponibilidad del personal humano y disminuyendo la temperatura en el área de envasado.

Los pasos a realizar con este nuevo CIP Frío serán:

- 1.- Un pre-enjuague por 5 minutos con agua potable a temperatura ambiente.

2.- Una limpieza ácida con aditivos tensoactivos a una concentración entre 0.8 y 1% por 20 minutos a temperatura ambiente.

3.- Un enjuague intermedio por 5 minutos con agua potable a temperatura ambiente.

4.- Desinfección final por 5 minutos con ácido peracético a temperatura ambiente.

Para realizar este proyecto se trabajará con el Departamento de Mejora Continua de una planta embotelladora de bebidas gaseosas de la ciudad de Guayaquil, donde se evaluará el sistema de limpieza en conjunto, manteniendo la misma calidad microbiológica y demostrando los ahorros generados.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

La higiene y sanitización es muy importante en todas las industrias procesadoras de alimentos porque garantiza que los procesos de elaboración y el producto final posean una alta calidad microbiológica. Los sistemas de limpieza más comúnmente utilizados en la industria son: la limpieza manual, por inundación y el sistema de circuito cerrado en el sitio que en sus siglas en inglés se la conoce como CIP (Clean In Place).

La operación de limpieza en las envasadoras de bebidas gaseosas es realizada para eliminar sustancias residuales y microorganismos que pueden estar presentes al finalizar la producción de un lote.

1.1 Proceso de fabricación de bebidas gaseosas

Para el proceso de producción de bebidas gaseosas se requieren de cuatro elementos de alta calidad microbiológica:

1. Agua potable;
2. Sustancias bases como el concentrado de frutas y/o aromas artificiales;
3. Coadyuvantes como gomas, enturbiantes, clarificantes, cereales, jarabe de caña y edulcorantes artificiales;
4. Sustancias preservantes como el Dióxido de Carbono, Nitrógeno, Sorbato de Potasio y Benzoato de Sodio.

Estos cuatro elementos empleados en el proceso de fabricación de bebidas gaseosas constituyen las sustancias residuales dentro de la línea de envasado y, por lo tanto, cualquiera de los sistemas de limpieza deberá removerlas junto con los microorganismos que pueden generarse en el tiempo y que pueden estar presentes al final de un lote de envasado (Ver Apéndice 1: Operaciones en una Industria Embotelladora de Bebidas).

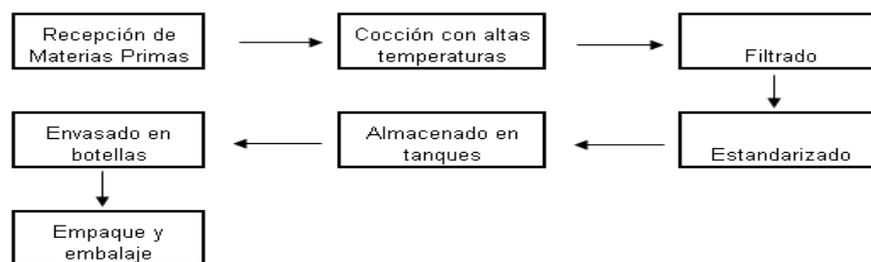


FIGURA 1.1 DIAGRAMA DE FUJO DE BEBIDAS GASEOSAS

En la Figura 1.1 puede distinguirse el diagrama de flujo de las bebidas gaseosas, desde la recepción de materias primas hasta su embalaje. En el Apéndice 2 se pueden apreciar los equipos de la envasadora.

1.2 Sistemas de limpieza y sanitización empleados en la industria alimentaria

En este tipo de plantas procesadoras que se dedican a la fabricación de bebidas gaseosas es necesario realizar limpiezas internas de tuberías, líneas, tanques y máquinas llenadoras; con el fin de que una buena limpieza no permita mezclas de sabores, ni de residuales contaminantes que puedan afectar la calidad final de la bebida, las mismas que deberán ser realizadas en el arranque de una producción o al cambiar de sabor al producto. Actualmente las envasadoras utilizan tres métodos de limpieza y desinfección: manual, por inundación y circuito cerrado en el sitio (CIP).

Limpieza Manual.- Se desarman las tuberías de las líneas de producción y se las cepilla interiormente. En los tanques de almacenamiento de producto un trabajador debe entrar y proceder a realizar la limpieza, con cepillos, soluciones de detergentes y agua tratada. Por lo general, este tipo de limpieza se realiza en envasadoras muy antiguas y desarmables en un tiempo promedio de 3 horas.

Limpieza por Inundación.- Se llenan las tuberías, las llenadoras y los tanques con soluciones detergentes y desinfectantes en concentración superior al 5% durante 5 a 8 horas, para garantizar una buena desinfección. Luego, se realiza un enjuague con agua a temperatura ambiente por una hora más.

Limpieza en circuito cerrado CIP.- Consta de varias etapas que se detallan a continuación:

1. Pre-Enjuague: El objetivo es remover gran cantidad del residuo de poca adherencia, para ello se utiliza agua a temperatura ambiente (20°C a 25 °C) durante unos 5 a 10 minutos. Una de sus características es prolongar la vida de la solución detergente. Es más efectivo si se hace incluyendo pulsos de prendido y apagado para generar turbulencia discontinua.

2. Limpieza Alcalina: El objetivo de este proceso es remover el residuo de mayor adhesión. Se usan soluciones de hidróxido de sodio al 2.5%, para esto es necesario trabajar a temperaturas de 60°C a 80°C para que la solución de limpieza sea eficiente. Si no alcanza esta temperatura es necesario trabajar a concentraciones mayores al 5%

de Hidróxido de Sodio, generalmente se emplea un tiempo de 45 a 60 min.

3. Enjuague Intermedio: Remueve el residuo detergente y se usa agua potable caliente mayor a 80°C; el tiempo de circulación es hasta que finalice el residual de detergente, que dura de 30 a 40 min.

4. Limpieza Ácida: Este paso se realiza cada mes, o cuando la incrustación por carbonatos de calcio es grande; se lo realiza después del enjuague del detergente alcalino; proporciona un ambiente ácido bacteriostático; se usan generalmente soluciones de ácido nítrico y/o ácido fosfórico en concentraciones del 1% al 2%. El tiempo de limpieza por lo general es de 30 min. a temperatura ambiente.

5. Post-Enjuague: El objetivo es remover los residuos del detergente ácido. Este proceso se lo realiza con agua por lo general a temperatura ambiente y dura de 5 a 10 min.

6. Desinfección: Se la aplica para lograr la eliminación de población microbiana al nivel aceptable o a las especificaciones de calidad e higiene de la industria de bebidas gaseosas, que generalmente también se la realiza antes de iniciar la producción.

Los procesos de desinfección pueden ser los siguientes: con agua caliente por 15 min., a una temperatura entre 80°C y 90°C; o, con un sanitizante químico tradicional que puede durar de 10 a 15 min. a temperatura ambiente y éstos pueden ser: cloro desde 50 - 200 ppm, amonio cuaternario al 2% o compuestos yodados al 20 ppm.

7. Enjuague Final: Es la eliminación total del residuo desinfectante y se debe utilizar agua fresca de muy buena calidad microbiológica.

1.3 Residuos y microorganismos contaminantes en la industria de bebidas gaseosas

Una vez finalizado el proceso de envasado, quedan residuos orgánicos, inorgánicos y microbios que se han acumulado a lo largo de este proceso.

En algunas plantas de envasado, los residuos orgánicos como gomas, azúcares simples, taninos etc., son una fuente nutritiva para los microorganismos viables.

Los residuos inorgánicos minerales como las sales de hierro y calcio presentes en ciertas bebidas carbonatadas, reaccionan con el hidróxido de sodio (utilizado como solución de limpieza en el CIP actual) formando incrustaciones de carbonato y bicarbonato de calcio en las paredes de la tubería.

Esta reacción se presenta de la siguiente manera:

Obtención de Bicarbonato de sodio



Cuando la limpieza no es la adecuada, o no se efectúa en el momento preciso, los residuos tanto orgánicos como inorgánicos se tornan contaminantes que pueden degradar al producto final o afectar su calidad sensorial.

Los microorganismos que se encuentran en plantas de envasado de gaseosas son fundamentalmente:

- Bacterias como *Cándida pelliculosa*, *Pichia*, *Hansenula*, *Brettanomyces*, que forman filamentos, sedimentos y turbidez y otros efectos desagradables como aumento de presión que, cuando se abre la botella, genera excesiva espuma. Esto algunas veces es causa de explosión y olor fermentado ofensivo.
- Levaduras, especialmente del género *Saccharomyces* (*cerevisiae*, *uvarum*, *pastorianus*, *diastaticus*), que deterioran ostensiblemente la bebida gaseosa y causan turbidez, filamentos, sabores desagradables (fenólicos) y fuerte aumento de la presión interna de la botella.

- Menos común es encontrar especies tales como: Bacterias Gram-positivas del género *Pediococcus* (cocos) y del género *Lactobacillus* en forma de bastones; estas últimas aportan a las bebidas una coloración violeta/azul. Las bacterias Gram-negativas del género *Acetobacter* aportan a las bebidas una coloración roja. Y, hongos como el *Aspergillus niger* que, aunque no está en el interior del producto final sino en la parte externa, y, por su carácter aerobio, sí se encuentra en la línea de envasado, especialmente si ésta no ha sido debidamente limpiada y sanitizada.

1.4 Sistema propuesto de limpieza y sanitización CIP Frío

En vista de que los residuos de la producción de bebidas gaseosas son muy solubles en agua, se pueden emplear detergentes ácidos capaces de solubilizar eficazmente la suciedad de tipo orgánico así como los residuos inorgánicos no eliminables por los sistemas de limpieza empleados actualmente.

El nuevo sistema de limpieza que se propone, denominado CIP Frío (porque la temperatura de trabajo es ambiente), al igual que otros sistemas de limpieza como el CIP que actualmente se usa en las plantas envasadoras de bebidas gaseosas, permite eliminar los

residuos existentes al finalizar una producción y mantener las condiciones asépticas requeridas por el proceso.

Mientras, que el proceso CIP de limpieza tradicional con temperatura se basa en el incremento de la temperatura de trabajo en combinación con el uso de agentes químicos, el CIP Frío se basa en la aplicación de la energía necesaria para romper los enlaces que mantienen adheridas las partículas residuales a las superficies de las tuberías y equipos en general.

Según Sinner¹ para que el proceso de limpieza sea efectivo se deben combinar adecuadamente al menos dos de las siguientes variables: tiempo, energía química, energía mecánica y calor. (Ver Figura 1.2) Considerando el tipo de residuo a eliminar, el sistema de limpieza propuesto se basa en el uso de las variables: energía mecánica y energía química.

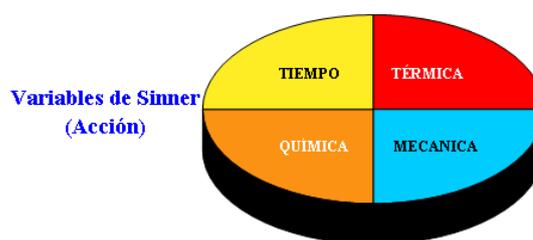


FIGURA 1.2. VARIABLES DE SINNER

¹ Padre de la limpieza

La primera variable que se toma en cuenta para implementar el nuevo sistema de limpieza es la variable mecánica, pues la velocidad del flujo del sistema (proporcionado por la bomba) debe ser mayor a 1.5 m/s. correspondiente a un caudal mayor a 5 m³/h y una presión de 1.33 bar = 133 kPa. La efectividad de la limpieza dependerá en parte de que esta velocidad de flujo permanezca constante y esté bien controlada, manteniendo este caudal durante todo el proceso de limpieza.

En la variable química se considera la unión de detergente y de agua potable, denominada solución química, que debe tener un ph ácido, de esta manera se evita que la solución reaccione con carbonatos, cloruros o gases como el dióxido de carbono; metales como el hierro y, sales de calcio y magnesio que están presentes en el proceso de elaboración y envasado de las bebidas carbonatadas, los cuales causan incrustaciones en la línea. La solución ácida formulada constituye un detergente ideal para trabajar con los diferentes tipos de durezas del agua.

Los detergentes ácidos a usarse en el sistema de limpieza CIP Frío presentan un pH ácido, con lo cual su acción microbicida se mantiene después de la limpieza; dicha propiedad permite reutilizar esta

solución ácida, es decir, puede almacenarse, aunque su concentración, luego del proceso de limpieza, disminuye en un 30%.

El CIP Frío se trata de un nuevo sistema de circuito cerrado, usado a temperatura ambiente (20°C a 30°C) y consta de las siguientes etapas:

1. Pre-enjuague, donde se emplea agua potable por un tiempo de 5 minutos.
2. Limpieza ácida con un detergente ácido a una concentración de 0.8 a 1.2% v/v, durante 15 a 20 minutos. Esta solución adquiere un pH de 2.5 a 3.
3. Enjuague de detergente ácido, para lo cual se emplea agua potable por un tiempo de 5 minutos.
4. Desinfección ácida con un desinfectante a base de ácido peracético, con una concentración desde 0.3 a 0.5% v/v por un tiempo de 5 a 10 minutos.

Todo este sistema da un tiempo total aproximado de 30 a 40 minutos por cada limpieza realizada en la envasadora. Uno de los requerimientos más importantes para la aplicación del CIP Frío en cualquier proceso es que la velocidad de flujo de las soluciones de limpieza esté sobre 1,5 m/s o que presente un Reynolds turbulento.

En esta tesis se plantea demostrar que, implementando el sistema CIP Frío, también se lograrán eliminar los residuos contaminantes del proceso en una envasadora de bebidas gaseosas. Utilizando un detergente ácido, un desinfectante terminal altamente microbicida y una velocidad de flujo turbulento constante, se espera reducir en un 50% el tiempo actual programado para las operaciones de limpieza en la planta; y, obtener un ahorro del 40% sobre los costos en insumos, agua y mano de obra, todo lo cual se traduce en una mayor disponibilidad de la línea de proceso.

CAPÍTULO 2

2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE LIMPIEZA CIP FRÍO EN LA INDUSTRIA DE BEBIDAS GASEOSAS

Para la implementación del nuevo sistema de limpieza CIP Frío específicamente se hará la prueba en una planta envasadora de bebidas gaseosas donde primero se realizará un diagnóstico y evaluación del estado actual de la planta, para con los datos registrados, poder determinar los requerimientos de materiales y equipos, así como, el modo de operación.

2.1 Evaluación y diagnóstico del proceso de limpieza actual

Actualmente, la línea de envasado posee dos máquinas que se limpian y desinfectan con el sistema CIP a temperatura alta, descrito en el capítulo anterior.

2.1.1 Registro del estado actual

Se efectuó una auditoria de la envasadora sobre los siguientes puntos:

1. Infraestructura del sistema de limpieza y equipos.
2. Parámetros de operación: Frecuencia, tiempos, temperaturas, caudal del agua de lavado y enjuague.
3. Tipos de residuos a eliminar.
4. Soluciones de limpieza y sanitizantes y sus concentraciones.

El formulario aplicado en la auditoría de implementación se puede observar en el Apéndice 3.

Infraestructura del sistema de limpieza y equipos.

La línea de envasado posee dos envasadoras Krones automáticas, cada una con una capacidad de 650 b/min. y un Programa de Control en Línea (PLC) programable.

Tanques CIP (sistemas abiertos)

Existen tres tanques verticales de aproximadamente 4 m³: uno de agua fresca, otro con solución detergente y un tercer tanque con agua caliente para el enjuague; todos poseen equipo de pulverización como spray balls o tubos rotatorios.

Esto se observa en la Figura 2.1

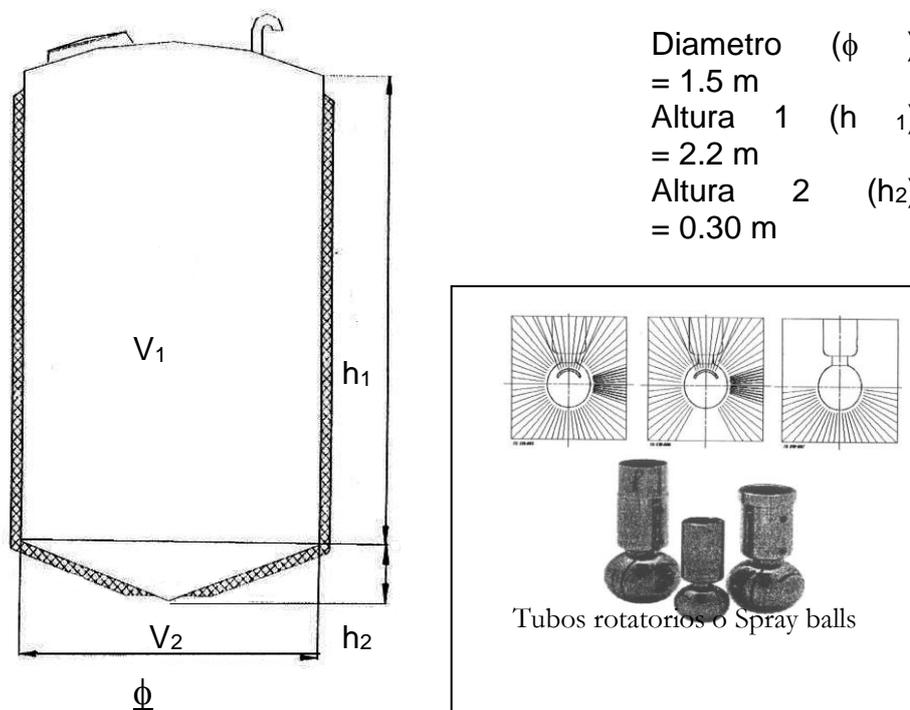


FIGURA 2.1. TANQUE CIP CON SPRAY BALL O TUBOS ROTATORIOS

Tuberías

La longitud de las tuberías de limpieza a las envasadoras y de retorno es de 18 m en total, con 1½" o 38.1 mm de diámetro exterior, 34.9 mm de diámetro interior y un espesor de 1.6 mm.; de acero ASI 316L, que es un material de bajo contenido de carbono y con una gran resistencia a la corrosión, producida por soluciones detergente altamente alcalinos.

Bombas

Se dispone de una bomba centrífuga para el transporte exclusivo de la solución de limpieza hacia todos los tanques CIP; no está conectada a otros procesos. Opera con un caudal mínimo de 5 m³/h y una presión de 133 kPa.

Parámetros de operación

Las máquinas envasadoras se limpian con el sistema CIP una vez por semana. Cada envasadora se limpia, enjuaga y desinfecta en dos horas y media, por lo tanto, el tiempo total de limpieza es de cinco horas.

El agua y la solución detergente empleada en el CIP son calentadas por inyección directa de vapor sobrecalentado a los tres tanques.

Tipo de residuo en tanques y líneas

Se trata de un residuo con composición de dióxido de carbono, azúcares, almidones y taninos, depositado en las paredes internas de la máquina envasadora y todo el sistema de tuberías. Este residuo combinado con la temperatura de trabajo

actual, constituye un medio ideal para el desarrollo de carga microbiana.

Soluciones de limpieza y sanitizantes

Se presenta como solución de limpieza, Hidróxido de Sodio al 2.5%. Dicha solución es calentada a una temperatura entre 80°C y 90°C para optimizar su uso. También se usa agua potable microbiológicamente apta para el consumo humano que ingresa a los tres tanques con una velocidad de 1.3 m/s y a una temperatura entre 80°C y 90°C para limpiar junto con el detergente, luego enjuagar el Hidróxido de Sodio y, finalmente, desinfectar los equipos y tuberías.

2.2 Requerimientos del sistema propuesto de limpieza en frío

Para lograr un correcto funcionamiento se detallan los materiales y equipos; la formulación de los detergentes y sanitizantes; y, la prueba experimental, con el fin de implementar correctamente este sistema en la industria de bebidas gaseosas.

2.2.1 Materiales y equipos

Para el proceso general de limpieza a desarrollar por el CIP Frío, se requiere:

- a) Un tanque para el almacenamiento del agua de remojo y enjuague de 4,06 m³.
- b) Un tanque para el almacenamiento del detergente ácido de 4,06 m³. La capacidad de los tanques está condicionada a la capacidad del calderín y de las tuberías.
- c) Una bomba centrífuga que mantenga el caudal constante y que mantenga la velocidad de flujo de 1.5 m/s.
- d) Se necesitarán 200 kilos de detergente y 200 kilos de ácido peracético.
- e) Se necesitan reactivos para medir la concentración del detergente en forma manual, una bureta de 25 ml. de Hidróxido de Sodio al 0,1Normal y como indicador, Fenolftaleína.

Estos componentes que se requieren para el sistema propuesto de limpieza CIP Frío se grafican en la Figura 2.2.

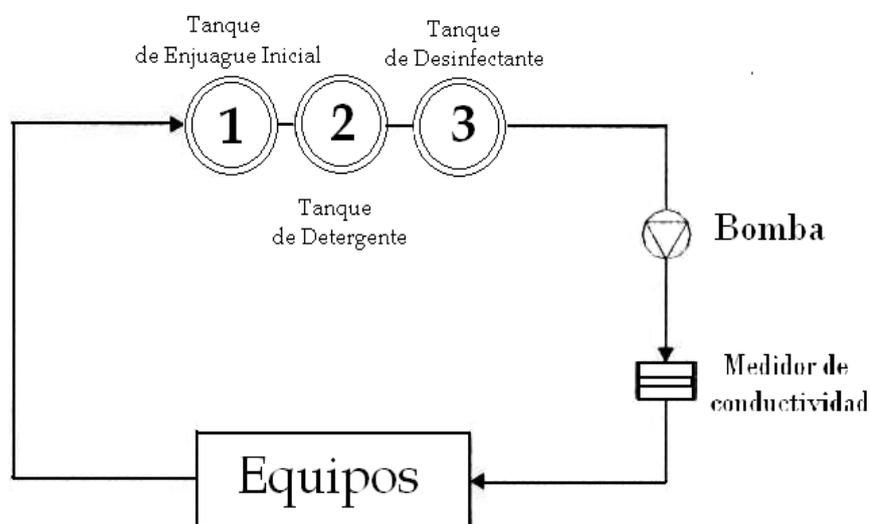


FIGURA 2.2. COMPONENTES DEL PROCESO CIP

f) El nuevo sistema propuesto permite utilizar agua que pueda contener cualquier tipo de dureza, sin embargo, debe ser de excelente calidad microbiológica (libre de microorganismos).

A continuación se detallan en la Tabla 1 las concentraciones de carbonato de calcio (dureza del agua) presente en las aguas de la empresa.

TABLA 1

CONCENTRACIONES DE CARBONATO DE CALCIO

Tipos de dureza de agua	ppm CaCO³
Agua blanda	0 a 40
Agua levemente dura	41 a 90
Agua dura	91 a 150
Agua muy dura	> 151

Fuente: Limpieza y Desinfección en la Industria Alimentaria, 2000

2.2.2 Formulación de detergentes y sanitizantes

Detergente.

Es el agente químico que mezclado con el agua va a encapsular, emulsificar o saponificar los residuos adheridos a una superficie. Esta mezcla detergente-agua se la conoce como solución detergente.

Para la elección del detergente de limpieza, de envasadoras de bebidas gaseosas, se toma como referencia las características del proceso de envasado y sus residuos; el proceso de envasado se lo realiza a temperaturas inferiores a 5°C, y los residuos del proceso son azúcares simples y no presentan grasa. Las bebidas gaseosas se componen de: 87.5% de agua, 12.5% de azúcares y 0.015% de proteínas.

Por lo que se elije un detergente ácido que, además, cumple con las siguientes características:

- Causa una reacción química con residuos y microorganismos para su desprendimiento y eliminación, con mejor contacto y penetración.
- No es corrosivo, ni deja un residual químico.
- posee acción sanitizante.
- No deja residuos y/o incrustaciones como dureza de agua.

Esto se aprecia en la Figura 2.3

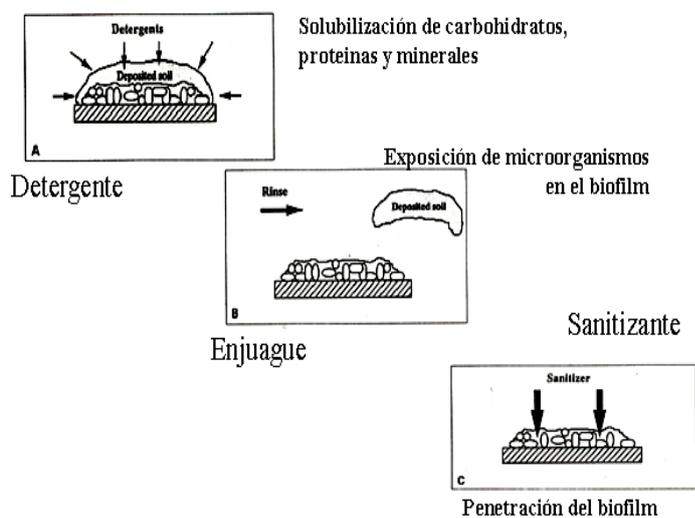


FIGURA 2.3 MODO DE ACCIÓN DEL DETERGENTE SOBRE UNA SUPERFICIE A LIMPIAR

Un detergente en general se forma de una sustancia base, más un tensoactivo; el detergente que se recomienda para el CIP Frío debe tener como base el ácido fosfórico; junto a un tensoactivo que puede ser iónico o catiónico; estos tensoactivos se los conocen también como aditivos, cuya función principal es reducir la tensión superficial de la solución de limpieza y que sea inferior a la del agua, que es de 70 DN, con el objetivo de que, al enjuagar la solución de detergente, se remueva fácilmente con el agua.

Este detergente por su acidez posee propiedades sanitizantes, es bajo en espuma, e incluso por su naturaleza ácida actúa bajo atmósferas de dióxido de carbono.

A continuación en la Tabla 2 se desglosa la formulación del detergente ácido.

TABLA 2
FORMULACIÓN DEL DETERGENTE ÁCIDO

DETERGENTE ÁCIDO	Cantidad	Porcentaje
Acido fosfórico	0,2717 kgs.	27.17%
Aditivo	0,5934 kgs.	59.34%
Agua blanda	0,1348 kgs.	13.48%
	1,00 kgs.	100%

Realizado por: Luis Crespo Reyes, 2007

Al estar compuesto por ácido fosfórico, puede ser monitoreado y controlado por medio de equipos de medición de conductividad.

Produce baja espuma, incluso a alta turbulencia y presión, por lo cual es ideal para aplicaciones CIP; no ataca las superficies de acero inoxidable, es de fácil remoción o enjuague y todos sus componentes son biodegradables.

Se usa a una concentración entre 0,8% y 1,5% v/v, a temperatura ambiente. Las soluciones pueden ser preparadas y mantenidas a la concentración requerida, usando equipos de medición y control por conductividad.

Se efectuó una prueba previa para determinar el rango de desprendimiento o eliminación de microorganismos, en un laboratorio, manteniendo la turbulencia con una velocidad superior a 1,5 m/s en una superficie de acero lisa, donde salieron los siguientes resultados.

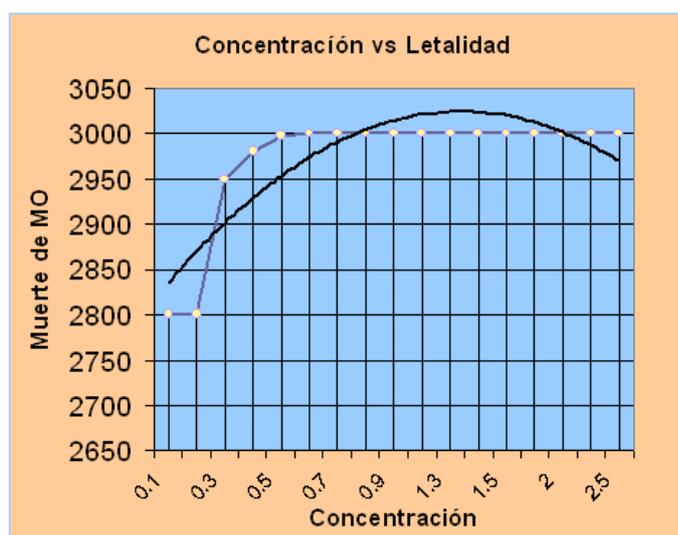


FIGURA 2.4. MICROORGANISMOS REMOVIDOS VS. CONCENTRACIÓN DE DETERGENTE

En la figura 2.4 se colocaron 3×10^3 microorganismos por m^2 de tubería, donde se observa que entre 0.9 a 2% de concentración de detergente empleado, existe una mayor remoción de estos microorganismos debido al tensoactivo, que suspende la suciedad y las evacua.

Para controlar la concentración se diseñó un método de titulación de la solución limpiadora.

Los reactivos utilizados son Hidróxido de Sodio (NaOH), 0,1Normal e indicador como Fenolftaleína.

El procedimiento de titulación se basa en tomar una muestra de 10 ml. de la solución limpiadora, agregar 3 gotas de fenolftaleína y titular con Hidróxido de Sodio, 0.1Normal, hasta viraje de incoloro a violeta.

$$\text{Porcentaje (\% v/v)} = \frac{\text{ml NaOH 0.1N gastados} + 0.0233 \text{ meq Acd fosfórico}}{13.342 \text{ gr muestra tomada}}$$

Características Fisicoquímicas:

Es un líquido claro, Incoloro

Gravedad Específica	1,30 (20°C)
pH, solución al 1% vlv	1,70 (20°C)
Punto de Congelamiento	< -5° C
Conductividad, solución al 1% v/v	7730 μs (25°C)
DQO	110 g O ₂ /Kg.
Contenido de Nitrógeno	Ninguno
Contenido de Fósforo	140 g/Kg.

El detergente ácido en un sistema de CIP Frío produce grandes beneficios frente a la limpieza alcalina:

1. Los detergentes ácidos solubilizan eficazmente la suciedad de tipo orgánico (grasas, carbohidratos, proteínas, albúminas, etc.)
2. Los ácidos solubilizan los residuos inorgánicos no eliminables por productos alcalinos, como la incrustación de carbonatos de calcio.
3. Los ácidos no reaccionan con el CO₂ como sí lo hacen los detergentes alcalinos y la soda cáustica. No se presentan pérdidas de tiempo debidas a la eliminación del CO₂ presente en los tanques en el momento del saneamiento.
4. Menores tiempos empleados en el saneamiento.
5. Temperatura de trabajo en frío (temperatura ambiente).
6. Los ácidos se enjuagan y neutralizan fácilmente en el efluente, debido a que la mayoría de los desechos de las empresas embotelladoras son de carácter alcalino, como en las operaciones de lavado de botellas y lubricantes a base de ácidos grasos.
7. Presentan acción biostática protectora.
8. Mayor economía con el re-uso de las soluciones.
9. Sin riesgo toxicológico, sin efecto negativo a la bebida gaseosa.

10. Menor uso de servicios (luz, agua, vapor) y alta biodegradabilidad

Modo de acción del detergente

Las cuatro etapas en el proceso de detergencia se basan en que la sustancia, que es el ácido fosfórico, en unión con un aditivo o tensoactivo, que es una sustancia humectante y penetrante, combinada en solución, lograrán las siguientes propiedades a la hora de limpiar:

1. Humectación de la suciedad por el detergente.
2. Remoción de la suciedad de la superficie.
3. Dispersión de la suciedad en la solución detergente.
4. Suspensión de la suciedad en la solución para prevenir la redepositación sobre la superficie. (Confrontar la Figura 2.5)

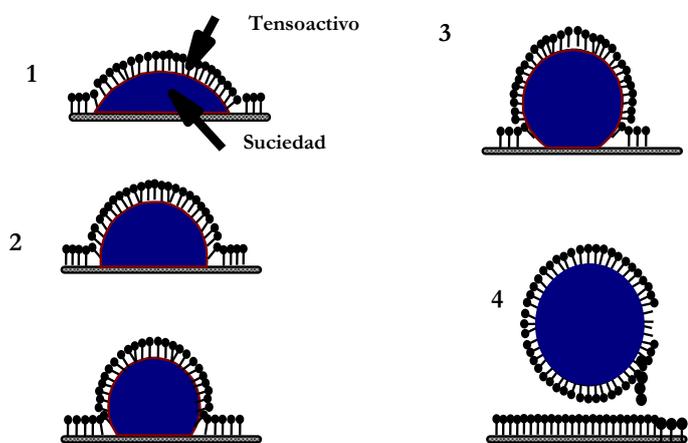


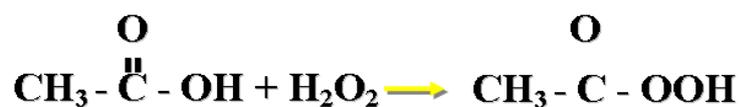
FIGURA 2.5 MODO DE ACCIÓN DEL DETERGENTE

Este detergente tiene la particularidad de ser recuperado o volverse a usar dando ahorros en costos de detergente.

Sanitizante (Desinfectante Terminal)

Se requiere el ácido peracético al 14 % que es un genérico que no se lo desarrolló, pero por sus características ayudará a garantizar una esterilidad en el equipo ya limpio en el sistema CIP Frío propuesto.

Su composición está dada por un sistema de equilibrio entre el ácido acético y el peróxido de hidrógeno en medio acuoso:



Características del Ácido Peracético

Las características de este sanitizante son que tiene alta y rápida actividad y velocidad germicida, su rango de acción microbicida es de amplio espectro atacando bacterias, levaduras, mohos y virus.

Concentrado al 14 % es estable y no se volatiliza; en concentraciones inferiores al 1%, luego de 6 horas, se transforma en agua y oxígeno.

La concentración de uso en nuestro sistema es de 100 a 200 ppm o 0.1 a 0.5%, la solución requiere tener un pH de 3 a 6 para una mejor acción; se lo usa a temperatura ambiente.

Ataca los metales blandos y algunos materiales de empaque en estado puro al 14%.

Otras ventajas son que es totalmente biodegradable, seguro al medio ambiente, se puede usar en ambientes/atmósfera de CO₂; por su característica ácida, prácticamente no se afecta con la dureza del agua, es un producto económico, posee buena solubilidad en agua, es un sanitizante terminal que no necesita enjuague y produce baja espuma, por lo cual se recomienda para todas las rutinas de higiene CIP. Una desventaja es que si el equipo a limpiar no es de acero las

trazas de metales aceleran su descomposición y colabora con la corrosión.

Características Fisicoquímicas

Aspecto	Líquido claro
Color	Incoloro
Olor	Irritante
Gravedad Específica	1,12 (20°C)
pH, solución al 1% v/v	1,5 (20°C)
Punto de Congelamiento	< -15°C
Contenido de Acido Peracético	14% p/p
Contenido de Peróxido de Hidrógeno	30% p/p mínimo.
DQO	Ninguno
Contenido de Nitrógeno (N)	Ninguno

Esta combinación, detergente – sanitizante, actúa en la suciedad y en especial donde existe acumulación mecánica de la misma, conocida como puntos muertos de la tubería, que son los poros e irregularidades de la superficie (soldaduras rugosas). Actúa con la materia orgánica, desnaturalizando proteínas, azúcares libres, polimeriza las grasas y ataca la incrustación debida a sales inorgánicas.

2.2.3 Pruebas experimentales

Sistema de limpieza CIP actual

Para comparar la eficiencia y reducción de costos entre los dos métodos CIP, se tabuló la información del método actual durante un mes. Se empezó a analizar el esquema de la limpieza donde se tienen dos parámetros: tiempo y temperatura, que se pueden observar en la Tabla 3:

TABLA 3

ESQUEMA DE LIMPIEZA CON MÉTODO CIP ACTUAL

Ítem	Descripción	Tiempo (min.)	Temperatura
1	Pre - enjuague (agua potable)	30	60 °C
2	Limpieza alcalina: Soda (2.5% v/v)	60	80-85 °C
3	Enjuague intermedio (agua potable)	30	60 °C
4	Desinfección (agua potable) Agua caliente	60	80-85 °C
Tiempo Total		180	

FUENTE: Datos del Proceso de Limpieza de la Envasadora, 2007)

Se aprovechó para comprobar el tipo de flujo en el sistema de limpieza CIP. Para corroborar la velocidad se midió el caudal en un tanque cubicado y se obtuvo que está en 6.23 m³/h dándonos una velocidad de 1.51 m/s. Junto con otros datos se determinó el número de Reynolds.

Para obtener la velocidad de flujo partimos de los siguientes datos en la siguiente formula:

$$Q = v \cdot A$$

$$v = Q / A$$

Para obtener el área

$$\phi = 1.5 \text{ pulgadas} = 38.1 \text{ mm}$$

$$A = \pi * \phi^2 / 4$$

$$A = \pi * (0.0381\text{m})^2 / 4$$

$$\mathbf{A = 0.001146 \text{ m}^2}$$

$$v = Q / A$$

$$v = (6.23 \text{ m}^3/\text{h}) / 0.001146 \text{ m}^2 * (1\text{h}/3600\text{s})$$

$$\mathbf{v = 1.51 \text{ m/s}}$$

El sistema actual cumple con la velocidad requerida para emplearla en el sistema propuesto.

Para obtener el número de Reynolds

Datos:

$$v = 1.51 \text{ m/s. lo Ideal}$$

$$\phi = 1.5 \text{''} = 38.1 \text{ mm}$$

$$\mu = 8 * 10^{-4} \text{ N*s/m}^2$$

$$N = \text{Kg*m/s}^2$$

$$\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

Cálculos

$$Re = (\rho * v * \phi) / \mu$$

$$Re = [(1000 \text{ Kg/m}^3) * (1.51 \text{ m/s}) * (0.0381\text{m})] / (8 * 10^{-4} \text{ N*s/m}^2)$$

Re = 71913.75

Como el número de Reynolds es de 71913.75 y es mayor que 2300, se concluye que es un **flujo turbulento**.

La velocidad del fluido es de 1.51 m/s que equivale a 5436 m³/h lo que asegura la generación de turbulencia dentro del sistema CIP actual. Esta velocidad cumple con las condiciones para poder ser aplicado en el sistema propuesto.

Se procede a obtener los datos del sistema de limpieza actual junto con sus etapas.

1. Pre-Enjuague

Esta etapa está constituida por un tanque de pre-enjuague, al que le ingresa agua fresca y es calentada desde 27 a 60°C; a través de un inyector se agrega vapor con un consumo de vapor de 216,74 Kg/h, para calentar un volumen de agua de 4.06 m³ por 60 min. El agua en esta etapa no es reutilizable.

El volumen del tanque se sacó por medio de los siguientes cálculos:

El tanque es de acero inoxidable AISI 316 en su interior y el forro de AISI 304, el espesor de los tanques de acero es de 50 mm, el tanque de pre-enjuague tiene un diámetro de 1.5 m y un volumen de 4.06 m³.

Para corroborar el volumen se hicieron los siguientes cálculos:

$$\text{Diámetro } (\phi) = 1.5\text{m}$$

$$\text{Altura 1 } (h_1) = 2.2\text{m}$$

$$\text{Altura 2 } (h_2) = 0.30\text{m}$$

$$\mathbf{V_T = V_1 + V_2}$$

Volumen 1

$$V_1 = A_{\text{base}} * h_1$$

$$V_1 = (\pi * \phi^2 / 4) * h_1$$

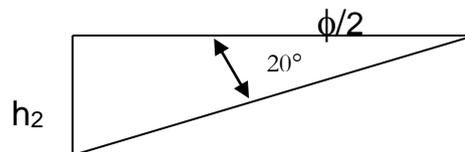
$$V_1 = [\pi * (1.5\text{m})^2 / 4] * 2.2 \text{ m}$$

$$V_1 = 3.89 \text{ m}^3$$

Volumen 2

$$V_2 = 1 / 3 A_{\text{base}} * h_2$$

$$V_2 = 1 / 3 (\pi * \phi^2 / 4) * h_2$$



$$V_2 = 1 / 3 [\pi * (1.5\text{m})^2 / 4] * 0.3 \text{ m}$$

$$V_2 = 0.1768 \text{ m}^3$$

Volumen Total

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$V_T = 3.89 \text{ m}^3 + 0.1768 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{V_T = 4.06 \text{ m}^3}$$

El tanque de pre-enjuague tiene como un espesor de pared de 2 mm.

Para calcular el calentamiento del agua en el tanque, se parte de la siguiente fórmula:

$$\mathbf{Q = (m * c_p * \Delta T) / t}$$

Donde m es la masa de agua que se calienta.

$$m = \rho * V$$

$$m = (1000 \text{ Kg} / \text{m}^3) * (4.06 \text{ m}^3)$$

$$\mathbf{m = 4060 \text{ Kg}}$$

Las propiedades se determinan a la temperatura promedio

$$(\bar{T})$$

$$\bar{T} = (T_i + T_0) / 2$$

$$\bar{T} = (27 + 60) / 2$$

$$\bar{T} = 44^\circ \text{ C} + 273$$

$$\bar{T} = 317^\circ \text{ K}$$

c_p que es el calor específico a presión constante, del apéndice 4 se obtiene que

$$(c_p)_{317\text{ °K}} = 4,176 \text{ KJ / Kg}^\circ\text{K}$$

Para calcular la capacidad calórica para el calentamiento de este volumen, se debe obtener el diferencial de temperatura a usarse.

ΔT Es el diferencial de temperatura en el tanque.

$$\Delta T = T_0 - T_i$$

$$\Delta T = (60 + 273) - (27 + 273)$$

$$\Delta T = 33\text{ °K}$$

t es el tiempo de calentamiento, tomado en 1 hora.

Por lo tanto,

$$Q = (m * c_p * \Delta T) / t$$

$$Q = [(4060\text{Kg}) * (4,176\text{KJ / Kg}^\circ\text{K}) * (33\text{ °K})] / 3600\text{s}$$

$$Q = 155,42 \text{ W}$$

Con estos cálculos, se observa que en el tanque de pre-enjuague se encuentra almacenado **155,42 W** de energía calorífica.

El vapor utilizado para el calentamiento del tanque es proporcionado por un caldero pirotubular de 45 BHP con una

generación de vapor de 1750 lb/h u 875 Kg/h y una presión de vapor al ingreso del tanque de 7 bar = 700 kPa.

Una vez obtenido el valor de energía calorífica, se procede al cálculo de la capacidad de vapor saturado en el tanque de enjuague.

Datos:

Volumen = 4.06 m³

T_i = 27°C

T₀ = 60°C

$$c = (m \cdot c_p \cdot \Delta T) / (h_{fg} \cdot t)$$

Donde,

c es la cantidad de vapor saturado.

m es la masa de agua a calentar.

$$m = \rho \cdot \forall$$

$$m = (1000 \text{ Kg/m}^3) \cdot (4.06 \text{ m}^3)$$

$$m = 4060 \text{ Kg}$$

Las propiedades se determinan a la siguiente temperatura promedio

$$\bar{T} = (T_i + T_0) / 2$$

$$\bar{T} = (27 + 60) / 2$$

$$\bar{T} = 44^{\circ} \text{C} + 273$$

$$\bar{T} = 317^{\circ} \text{K}$$

c_p que es el calor específico a presión constante, del Apéndice 4 se observa que:

$$(c_p)_{317^{\circ} \text{K}} = 4,176 \text{ KJ/Kg}^{\circ} \text{K}$$

ΔT es el incremento de temperatura que gana el agua.

$$\Delta T = T_0 - T_i$$

$$\Delta T = (60 + 273) - (27 + 273)$$

$$\Delta T = 33^{\circ} \text{K}$$

h_{fg} es la entalpía del vapor saturado, que del Apéndice 5 es:

$$(h_{fg})_{317^{\circ} \text{K}} = 2581,4 \text{ KJ/Kg}$$

$$c = (m \cdot c_p \cdot \Delta T) / (h_{fg} \cdot t)$$

$$c = [(4060 \text{ Kg})(4,176 \text{ KJ/Kg}^{\circ} \text{K})(33^{\circ} \text{K})] / [(2581,4 \text{ KJ/Kg})(1 \text{h})]$$

$$c = 216,74 \text{ Kg/h}$$

Entonces, el consumo de vapor es de **216,74 Kg/h**

2. Etapa de Detergente.

Luego se efectuó una limpieza alcalina con 317.18 Kg de soda cáustica concentrada al 32% hasta alcanzar una concentración de 2.5% en un volumen de 4.06 m³, en agua caliente a 85°C con un consumo de vapor de 403,57 Kg/h para calentar un volumen de agua de 4.06 m³ por 60 min.

Para calcular la cantidad de soda a agregarse se partió de los kg de agua que tiene el tanque:

Volumen de agua Kg. = 4.06 Kg

Concentración del Hidróxido de Sodio puro = 32%

Concentración NaOH en la solución= 2.5%

Si la solución pura fuera al 100% se obtiene:

$\text{Kg. NaOH}_{100\%} = (4.06 \text{ Kg} * 2.5\%) / (100\%)$

$\text{Kg. NaOH}_{100\%} = 101.5 \text{ Kg.}$

Por lo tanto, al 32% se tiene:

$\text{Kg. NaOH}_{32\%} = (101.5 \text{ Kg NaOH}_{100\%} * 100\%) / (32\%)$

$\text{Kg. NaOH}_{32\%} = 317.18 \text{ Kg}$

La etapa de detergente está conformada por un tanque de detergente que puede llenarse con agua fresca si el sistema CIP no está activo. La temperatura en el tanque debe ser mínima de 85°C. Al igual que en el tanque de pre-enjuague, se inyecta vapor directamente al tanque de detergente por medio de un inyector de vapor.

La concentración de detergente a utilizar es de 2.5% y es un detergente con soda cáustica que es altamente corrosiva.

La limpieza de esta etapa dura 60 minutos, con lo que se garantiza la eliminación de todos los microorganismos.

El agua con detergente en esta etapa, luego de cumplir su limpieza, no es recuperada y la temperatura que alcanza es de 85°C.

El tanque es de acero inoxidable AISI 316 en su interior y el forro es de AISI 304 y para su diseño se desarrollarán los siguientes pasos:

En el volumen del tanque se necesitan dos datos que son: el flujo volumétrico a manejar que es de 6.23 m³/h y el tiempo de 60 minutos como máximo para la limpieza.

El tanque tiene un diámetro de 1.5 m y un volumen de 4 m³, similares condiciones que el tanque de pre-enjuague.

El calor almacenado es diferente al tanque de pre-enjuague.

En el tanque de detergente por efecto de mantenerlo a 85°C desde la temperatura ambiente, mediante la inyección de vapor al agua, se lo determina a continuación:

$$Q = (m \cdot c_p \cdot \Delta T) / t$$

Donde m es la masa de agua que se va a calentar.

$$m = \rho \cdot V$$

$$m = (1000 \text{ Kg/m}^3) * (4.06 \text{ m}^3)$$

$$m = 4060 \text{ Kg}$$

Las propiedades se determinan a la siguiente temperatura:

$$\bar{T} = (T_i + T_0) / 2$$

$$\bar{T} = (27 + 85) / 2$$

$$\bar{T} = 56^\circ\text{C} + 273$$

$$\bar{T} = 329^\circ\text{K}$$

c_p que es el calor específico a presión constante, del

Apéndice 4, se encuentra que:

$$(c_p)_{329^\circ\text{K}} = 4,179 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$$

ΔT Es el diferencial de temperatura en el tanque.

$$\Delta T = T_0 - T_i$$

$$\Delta T = 85 - 27$$

$$\Delta T = 58^\circ\text{K}$$

t es el tiempo de calentamiento, tomado en 1 hora.

$$Q = (m * c_p * \Delta T) / t$$

$$Q = [(4060 \text{ Kg}) * (4,179 \text{ KJ / Kg}^\circ\text{K}) * (58^\circ\text{K})] / 3600\text{s}$$

$$Q = 273,35 \text{ W}$$

En el tanque de detergente se encuentra almacenado **273,35**

W de energía calorífica.

Otros Datos

La presión del vapor saturado al ingreso al tanque es de 700 kPa.

La cantidad de vapor saturado que se requiere para elevar la temperatura desde el ambiente (27°C) a 85°C, se lo determina a continuación:

Datos:

$$\text{Volumen} = 4.06 \text{ m}^3$$

$$T_i = 27^\circ\text{C}$$

$$T_o = 85^\circ\text{C}$$

$$c = (m * c_p * \Delta T) / (h_{fg} * t)$$

Donde:

c es la capacidad de vapor saturado.

m es la masa de agua que se va a calentar.

$$m = \rho * V$$

$$m = (1000 \text{ Kg} / \text{m}^3) * (4.06 \text{m}^3)$$

$$m = 4060 \text{ Kg}$$

Las propiedades se determinan a la siguiente temperatura:

$$\bar{T} = (T_i + T_o) / 2$$

$$\bar{T} = (27 + 85) / 2$$

$$\bar{T} = 56^{\circ}\text{C} + 273$$

$$\bar{T} = 329^{\circ}\text{K}$$

c_p es el calor específico a presión constante, que del Apéndice 4 es:

$$(c_p)_{329^{\circ}\text{K}} = 4,179\text{KJ/Kg}^{\circ}\text{K}$$

ΔT es el incremento de temperatura que gana el agua.

$$\Delta T = T_0 - T_i$$

$$\Delta T = 85 - 27$$

$$\Delta T = 58^{\circ}\text{K}$$

h_{fg} es la entalpía del vapor saturado, que del Apéndice 5 es:

$$(h_{fg})_{329^{\circ}\text{K}} = 2602,6 \text{ KJ / Kg}$$

$$c = (m \cdot c_p \cdot \Delta T) / (h_{fg} \cdot t)$$

$$c = [(4060\text{Kg}) \cdot (4,179\text{KJ/Kg}^{\circ}\text{K}) \cdot (58^{\circ}\text{K})] / [(2602,6\text{KJ/Kg}) \cdot (1\text{h})]$$

$$c = 403,57 \text{ Kg/h}$$

Entonces la cantidad de vapor que se inyecta al tanque es de 403,57 Kg/h.

3. Etapa de enjuague alcalino

Esta etapa está constituida por un tanque de pre-enjuague, al cual ingresa agua fresca que es calentada desde 27 a 60°C con vapor directo por un inyector, con un consumo de vapor

de 216,74 Kg/h, para calentar un volumen de agua de 4.06 m³ por 60 min. El agua en esta etapa no es reutilizable.

El volumen del tanque es similar al tanque del pre-enjuague y los cálculos teóricos fueron hechos en la primera etapa.

4. Desinfección con temperatura

La desinfección consiste en calentar agua desde 80°C a 85°C en un volumen de 4.06 m³. Se la realiza en un tercer tanque similar a los dos anteriores pero con un aislante y sin emplear agentes químicos. Con un consumo de vapor de 403,57 Kg/h para calentar un volumen de agua de 4.06 m³ por 60 min.

En esta etapa la temperatura interna del tanque de agua debe ser superior a los 80°C, y al igual que en el tanque de pre-enjuague y detergente, se inyectará vapor directamente por medio de un inyector de vapor.

La desinfección de esta etapa dura 60 minutos, con lo que se garantizará la eliminación de todos los microorganismos.

Sistema CIP Frío propuesto

Una vez conocidos los parámetros del CIP Actual de limpieza, se corrió la prueba con el sistema de limpieza y desinfección en

frío, en la línea de envasado, para lo cual se tuvo como guía el esquema de la Tabla 4.

TABLA 4
SISTEMA DE LIMPIEZA CIP FRÍO

Ítem	Descripción	Tiempo (min.)	Temperatura
1	Pre-enjuague (agua potable)	5	Ambiente
2	Limpieza ácida: detergente ácido (0.8-1.2% v/v)	20	Ambiente
3	Enjuague (agua potable)	5	Ambiente
4	Desinfección ácida: Peracético (0.3-0.5% v/v).	5	Ambiente
Tiempo Total		35	

Realizado por: Luis Crespo Reyes, 2007

Las condiciones mecánicas son las ideales al tener una velocidad de flujo de 1.51 m/s., ya determinado anteriormente en la prueba del CIP Actual.

1. Etapa de pre-enjuague

Esta etapa está constituida por un tanque de pre-enjuague, al cual ingresa agua fresca entre 25°C y 27°C, con un volumen de agua de 4.06 m³ por 5 minutos de recirculación en el sistema. El agua en esta etapa no es reutilizable y se remueven residuos del proceso por acción mecánica, debido a la turbulencia dentro del sistema CIP.

2. Etapa de Detergente.

Se efectuó una limpieza ácida con 40.6 Kg de detergente ácido en un volumen de 4.06 m³ de agua a temperatura ambiente (25°C–27°C); donde se alcanzó una concentración del 1%, en esta etapa se recirculó esta solución por un tiempo 20 minutos. La etapa de detergente ácido se la corrió desde el tanque 3; luego de cumplir su limpieza fue recuperado en un 70%.

3. Etapa de enjuague ácido

Esta etapa está constituida por un tanque de pre-enjuague, al cual ingresa agua fresca de 27°C y tiene un volumen de agua de 4.06 m³ por 5 min. de recirculación en el sistema. El agua en esta etapa es reutilizable para limpieza de pisos y paredes del área de envasado.

4. Desinfección con peracético

La desinfección consiste en aplicar 20.3 Kg de peracético en un volumen de 4.06 m³ de agua a temperatura ambiente, alcanzando una concentración de 0.5% por un tiempo de 5 min. de recirculación en el sistema. Luego se dejó el sistema inundado.

En esta etapa el tanque de agua para desinfectar puede llenarse con agua fresca. La temperatura en el tanque debe ser máxima de 27°C, al igual que en el tanque de pre-enjuague, con lo que se garantizará la eliminación de todos los microorganismos.

2.3 Implementación del sistema propuesto de limpieza CIP Frío

Una vez obtenidos los resultados favorables luego de la limpieza y desinfección, se realizaron trabajos de mejoras en la línea como el acondicionamiento de las tuberías y los empaques, ya que existían fugas en el sistema causado por el desgaste y el calentamiento de empaques con el CIP anterior.

Para ello se planificó el consumo de detergentes y sanitizantes que van a ser utilizados en el mes. Luego se diseñó un programa de capacitación del sistema para capacitar al personal involucrado, que se puede apreciar en la Tabla 5.

TABLA 5
PROGRAMA DE CAPACITACIÓN

TEMA	CIP FRIO EN ENVASADORAS				
DURACIÓN	2 HORAS				
LUGAR	SALA DE MEJORA CONTINUA				
FACILITADOR	Ing. Luis Crespo Reyes - DIVERSEY				
CONTENIDO	HORA	Ago-27	Sep-02	Sep-09	Sep-16
INDUCCIÓN TEÓRICA	07h00 - 09h00	G1/G2/G3/G4			
INDUCCIÓN PRÁCTICA	Por definir horario		G1/G4	G2/G4	G3/G4
TEMÁTICA	PARTICIPANTES				
INDUCCIÓN TEÓRICA	MANUEL ZAMBRANO				
GENERALIDADES DEL CIP FRIO	ANIBAL LEÓN				
Importancia y beneficios	ENRIQUE BORBOR				
Fundamento de la sanitización fría	XAVIER MONROY				
Alcance	JORGE PISCO				
QUÍMICOS DE APLICACIÓN	GUILLERMO CAÑIZARES				
Ficha técnica	DAVID GILCES				
Certificado de inocuidad	JUSTO HERNÁNDEZ				
Naturaleza química					
Almacenamiento y manipulación					
Preparación de la solución de limpieza					
Medidas de seguridad					
Primeros auxilios					
ETAPAS DEL CIP FRIO					
Enjuague inicial					
Limpieza					
Desinfección					
EVALUACIÓN DEL CIP FRIO					
Frotis					
Análisis microbiológicos					
Recuperación y reposición de las soluciones de limpieza					
INDUCCIÓN PRÁCTICA					
Uso de la protección personal					
Reconocimiento de los químicos de limpieza					
Recomendaciones para su manipulación y transporte					
Preparación de las soluciones de limpieza in situ					
Verificación de la concentración					
Regulación de concentraciones					
Realización del enjuague inicial					
Recirculación de la solución detergente					
Enjuague del detergente					
Recirculación de la solución desinfectante					
Evaluación del CIP					
Acciones correctivas					
Registro de resultados					

Fuente: Hoja de Análisis de Embotelladora (2007)

La capacitación fue realizada en conjunto con el Departamento de Mejora Continua, donde se abordaron las siguientes inducciones:

- Se inició con una inducción teórica, dando las generalidades del CIP Frío, los químicos de aplicación, almacenamiento y manipulación, preparación de la solución de limpieza, medidas de seguridad y condiciones del sistema, las etapas del CIP Frío, su evaluación mediante el frotis y los análisis microbiológicos, la recuperación y reposición de las soluciones de limpieza.
- Se terminó con una inducción teórica-práctica, poniendo énfasis en la protección personal, identificando los químicos de limpieza con recomendaciones para su manipulación y transporte, preparando las soluciones de limpieza in situ, verificando la concentración; así como realizando varias corridas de limpieza, con los diferentes turnos de personal y registrando los resultados.

La Tabla 6 muestra el cronograma del proceso de implementación.

TABLA 6

**CIP FRIO EN ENVASADORAS:
PLAN DE IMPLEMENTACIÓN**

ACTIVIDAD	Ago-05												Sep-05									
	15 al 19				22 al 26				29 al 2				5 al 9		12 al 16							
1 Acondicionamiento de la instalación para la recuperación total de la solución de limpieza																						
2 Definición de máximos y mínimo de consumo y adquisición de detergente y desinfectante																						
3 Prueba de validación microbiológica				SL		L3																
4 Inducción teórica del nuevo programa de sanitización																						
5 Inducción práctica																						
6 Validación de resultados																						

Fuente: Hoja de Análisis de Embotelladora (2007)

Una vez alcanzado esta inducción, se procedió a hacer dos corridas por grupo de operadores que eran 8 en total, acompañándolos a lo largo de sus limpiezas, hasta mantener el sistema de limpieza estandarizado.

A continuación en el siguiente capítulo se detallarán los resultados y conclusiones de las limpiezas realizadas con los dos sistemas.

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS COMPARATIVO Y RESULTADOS

El análisis comparativo se lo hará entre los dos métodos: el sistema de limpieza CIP Actual frente al CIP Frío propuesto. Se emplearán como parámetros de control, los análisis usados en la embotelladora para la liberación de su envasadora luego de la limpieza: parámetros Físico – Químicos, Microbiológicos y Organolépticos; y además, el costo de la operación del sistema, que se lo medirá en dólares/limpieza.

3.1 Parámetros de uso y control

Los parámetros que indicarán la calidad y eficiencia de la limpieza son los siguientes:

- 1. Físico – Químicos**
- 2. Microbiológicos**
- 3. Organolépticos**

3.1.1. Físico-Químicos

Se hicieron pruebas en los dos sistemas, donde se midieron con el luminómetro que se basa en la determinación del adenosíntrifosfato (ATP), la molécula de energía que se encuentra en todos los alimentos, vegetales, bacterias, mohos y levaduras. Los residuos de alimentos también son ricos en ATP y proveen nutrientes para el crecimiento de microorganismos.

Cuando el ATP se combina con los reactivos (luciferina y luciferosa) se produce una reacción que emite luz. El luminómetro mide la luz emitida. (Ver el Apéndice 6 donde se explica cómo se hace ésta medición).

Mientras más alto es el nivel del residuo de productos y microorganismos en una superficie o en la muestra de agua, más alta es la cantidad de ATP, y por ende, de luz. En el Apéndice 7 se muestran los parámetros de aceptación que maneja la embotelladora para aceptar o rechazar las limpiezas realizadas, siendo el máximo de aprobación, de 2.99 RLU's.

TABLA 7
RESULTADO FÍSICO-QUÍMICO ENTRE LOS DOS
MÉTODOS CIP

CIP ACTUAL						
Monitoreo Físico-Químico (RLU's)						
Lugar de Muestreo			Semana 1	Semana 2	Promedio (RLU's)	
Visor			1,3	1,5	1,4	<2,5
Entrada Llenadora			1,3	1,3	1,3	<2,5
CIP FRÍO PROPUESTO						
Monitoreo Físico-Químico (RLU's)						
Lugar de Muestreo	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Promedio (RLU's)	
Visor	1,2	1,3	1,3	1,5	1,33	<2,5
Entrada Llenadora	1,5	1,5	1,3	1,3	1,4	<2,5

Realizado por: Luis Crespo Reyes, 2007

La Tabla 7 muestra que los lugares donde se hicieron las pruebas fueron en el visor y en la entrada de la envasadora de bebidas gaseosas. Primero se hizo la prueba con el CIP Actual y después con el CIP Frío propuesto; los análisis se realizaron en diferentes fechas, obteniendo en ambos casos resultados menores a 2.5 RLU's, que según la Tabla de Aceptación del Apéndice 7, estas dos pruebas son aceptadas.

3.1.2 Microbiológicos

Se tomaron muestras e hisopados comparativos de los dos sistemas de limpieza CIP, en las siguientes partes de la

envasadora, para analizarlos microbiológicamente en aerobios, hongos y coliformes totales:

1. Agua de enjuague final de la llenadora
2. Válvula de llenado # 15
3. Válvula de llenado # 26
4. Válvula de llenado # 32
5. Al ambiente del área de embotellado
6. Visor
7. Entrada de la llenadora

Estas partes del equipo, analizadas con sus resultados, se detallan a continuación.

AEROBIOS TOTALES

Los aerobios totales son microorganismos que se encuentran en el aire y en el ambiente de la planta. Al emplear el sistema CIP Frío propuesto, el detergente y el desinfectante ácido oxidarán la pared celular de todos los microorganismos, provocando su lisis.

En las Tablas 8 y 9 se muestran los resultados de aerobios totales, en diferentes semanas y en diferentes puntos del área de envasado.

TABLA 8
RESULTADOS OBTENIDOS EN AEROBIOS TOTALES CON
EL SISTEMA CIP ACTUAL

Monitoreo de aerobios (UFC/g)							
Lugar de Muestreo			Semana 1	Semana 2	Promedio (UFC/g)		Satisfacción (%)
Enjuague Llenadora			196	235	215,5	80	80
Valvula de llenado 15			34	36	35	98	98
Valvula de llenado 26			258	180	219	80	80
Valvula de llenado 32			269	300	284,5	72	72
Ambiente Embotellado			268	280	274	74	74
Visor			44	26	35	98	98
Entrada Llenadora			290	260	275	74	74

Realizado por: Luis Crespo Reyes, 2007

TABLA 9
RESULTADOS OBTENIDOS EN AEROBIOS TOTALES
CON EL SISTEMA CIP FRIO PROPUESTO

Monitoreo de aerobios (UFC/g)							
Lugar de Muestreo	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Promedio (UFC/g)		Satisfacción (%)
Enjuague Llenadora	0	0	0	0	0	<10	100
Valvula de llenado 15	0	0	0	0	0	<10	100
Valvula de llenado 26	66	82	64	86	74,5	75	94
Valvula de llenado 32	0	0	0	0	0	<10	100
Ambiente Embotellado	79	83	56	80	74,5	75	94
Visor	0	0	0	0	0	<10	100
Entrada Llenadora	0	0	0	0	0	<10	100

Realizado por: Luis Crespo Reyes, 2007

Según la Tabla 10 se observa que en los dos métodos empleados se obtienen resultados aceptables, según los parámetros de satisfacción que maneja la empresa para liberar o aprobar un equipo después de la limpieza en aerobios y hongos, que se puede ver en el Apéndice 8.

TABLA 10
PORCENTAJE DE CALIFICACIÓN DE AEROBIOS
TOTALES EN LOS DOS MÉTODOS CIP

Lugar de Muestreo	CIP Actual (%)	CIP Frío propuesto (%)
Enjuague Llenadora	80	100
Valvula de llenado 15	98	100
Valvula de llenado 26	80	94
Valvula de llenado 32	72	100
Ambiente Embotellado	74	94
Visor	98	100
Entrada Llenadora	74	100

Realizado por: Luis Crespo Reyes, 2007

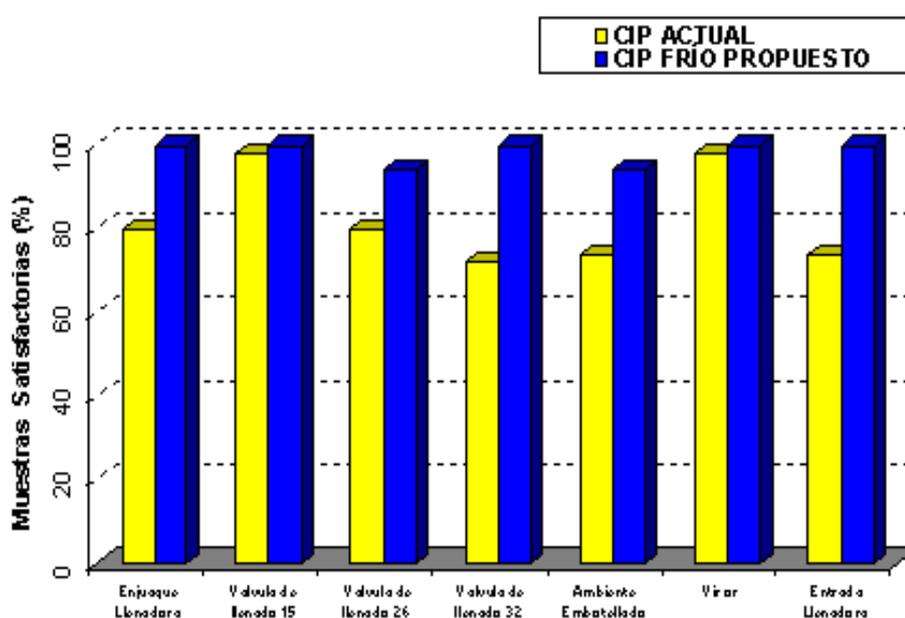


FIGURA 3.1. PORCENTAJE DE ACEPTACION DE AEROBIOS TOTALES

Analizando el resultado de aerobios totales (Figura 3.1) se observa que en el sistema propuesto los resultados fueron superiores en un 30%. Una consecuencia de la mejora en la microbiología del ambiente en el área de envasado, se da por disminuir la temperatura de rangos de 30 a 40°C que se tienen

con el método de limpieza CIP Actual, a temperaturas de 20 a 25°C con el CIP Frío propuesto; esta disminución en más de diez grados, inhibe el crecimiento y la proliferación de los microorganismos.

MOHOS Y LEVADURAS

Como se describió en el análisis de aerobios totales, en el CIP Frío propuesto se usa un detergente y un desinfectante ácidos, que son oxidantes y producen una lisis en la pared celular de los microorganismos.

Las Tablas 11 y 12 muestran los resultados que se obtienen de diferentes partes de la envasadora, tanto con el método CIP Actual como con el CIP Frío propuesto, con sus respectivos rangos de calificación.

TABLA 11

RESULTADOS OBTENIDOS EN MOHOS Y LEVADURAS CON EL SISTEMA CIP ACTUAL

Monitoreo de mohos y levaduras (UFC/g)							
Lugar de Muestreo			Semana 1	Semana 2	Promedio (UFC/g)		Satisfacción (%)
Enjuague Llenadora			0	0	0	<10	100
Valvula de llenado 15			24	46	35	98	98
Valvula de llenado 26			46	60	53	96	96
Valvula de llenado 32			0	0	0	<10	100
Ambiente Embotellado			138	152	145	86	86
Visor			0	0	0	<10	100
Entrada Llenadora			0	0	0	<10	100

Realizado por: Luis Crespo Reyes, 2007

TABLA 12
RESULTADOS OBTENIDOS EN MOHOS Y LEVADURAS
CON EL SISTEMA CIP FRÍO PRPUESTO

Monitoreo de mohos y levaduras (UFC/g)						
Lugar de Muestreo	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Promedio (UFC/g)	Satisfacción (%)
Enjuague Llenadora			0	0	0 <10	100
Valvula de llenado 15	0	0	0	0	0 <10	100
Valvula de llenado 26	0	0	0	0	0 <10	100
Valvula de llenado 32	0	0	0	0	0 <10	100
Ambiente Embotellado	80	68	74	76	74,5 75	94
Visor	0	0	0	0	0 <10	100
Entrada Llenadora	0	0	0	0	0 <10	100

Realizado por: Luis Crespo Reyes, 2007

En la Tabla 13 se ve el porcentaje de calificación de mohos y levaduras luego de realizar las limpiezas aplicando los dos métodos.

TABLA 13
PORCENTAJE DE CALIFICACIÓN DE MOHOS Y
LEVADURAS EN LOS DOS MÉTODOS CIP

Lugar de Muestreo	CIP Actual (%)	CIP Frío propuesto(%)
Enjuague Llenadora	100	100
Valvula de llenado 15	98	100
Valvula de llenado 26	96	100
Valvula de llenado 32	100	100
Ambiente Embotellado	86	94
Visor	100	100
Entrada Llenadora	100	100

Realizado por: Luis Crespo Reyes, 2007

La Figura 3.2 muestra los resultados son satisfactorios en mohos y levaduras, dentro de la envasadora, donde ambos métodos poseen un porcentaje de aceptación superior al 86%, (ver Apéndice 8).

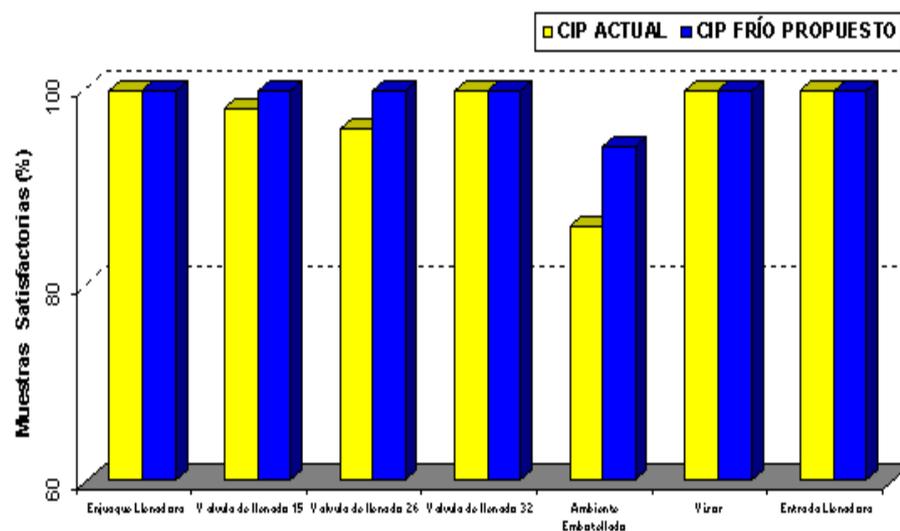


FIGURA 3.2. PORCENTAJE DE ACEPTACION DE MOHOS Y LEVADURAS

RECuento de Coliformes Totales

Las Tablas 14 y 15 muestran los resultados obtenidos de diferentes partes de la envasadora, tanto con el método CIP Actual como con el CIP Frío propuesto.

TABLA 14
RESULTADOS OBTENIDOS EN COLIFORMES TOTALES CON
EL SISTEMA CIP ACTUAL

Monitoreo de coliformes (UFC/g)					
Lugar de Muestreo			Semana 1	Semana 2	Promedio
Entrada Llenadora			0	0	0
Valvula de llenado 15			0	0	0
Valvula de llenado 26			0	0	0
Valvula de llenado 32			0	0	0
Visor			0	0	0

Realizado por: Luis Crespo Reyes, 2007

TABLA 15
RESULTADOS OBTENIDOS EN COLIFORMES TOTALES
CON EL SISTEMA CIP FRIO PROPUESTO

Monitoreo de coliformes (UFC/g)					
Lugar de Muestreo	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Promedio
Entrada Llenadora	0	0	0	0	0
Valvula de llenado 15	0	0	0	0	0
Valvula de llenado 26	0	0	0	0	0
Valvula de llenado 32	0	0	0	0	0
Visor	0	0	0	0	0

Realizado por: Luis Crespo Reyes, 2007

TABLA 16
PORCENTAJE DE CALIFICACIÓN DE COLIFORMES
TOTALES EN LOS DOS MÉTODOS CIP

Lugar de Muestreo	Actual (%)	CIP Frío propuesto (%)
Entrada Llenadora	100	100
Valvula de llenado 15	100	100
Valvula de llenado 26	100	100
Valvula de llenado 32	100	100
Visor	100	100

Realizado por: Luis Crespo Reyes, 2007

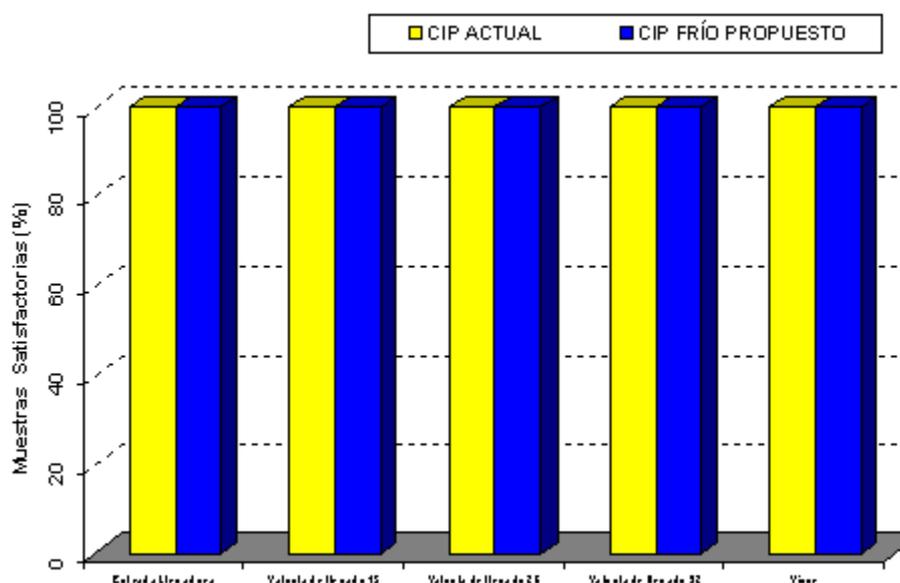


FIGURA 3.3. PORCENTAJE DE ACEPTACION DE COLIFORMES TOTALES

En el conteo de coliformes totales que se pueden ver en la Tabla 16 y en la Figura 3.3, los resultados que se obtienen en ambos métodos de limpieza (Actual y Frío) dan un 100% de satisfacción. Para que la industria lo acepte tienen que haber 0 UFC/g de coliformes totales, caso contrario es inaceptable o está mal hecho el método de limpieza.

3.1.3 Organolépticos

En este análisis sensorial se tomaron muestras del agua de enjuague final, en diferentes partes de la envasadora.

Estas muestras (véase la Tabla 17), se la obtuvieron de 25 muestras de 4 limpiezas en dos semanas, tanto en el método CIP Actual como en el método CIP Frío propuesto, dándonos los siguientes resultados:

TABLA 17
PORCENTAJE DE CALIFICACIÓN EN MUESTRAS DE AGUA
TOMADAS AL FINAL DE LA LIMPIEZA

	Calificación		
	CIP Actual	CIP Propuesto	Observaciones
1	100	100	OK
2	100	100	OK
3	100	100	OK
4	90	100	Levemente diferente
5	100	90	Levemente diferente
6	100	100	OK
7	100	100	OK
8	100	100	OK
9	100	100	OK
10	70	100	Notas a soda en muestra
11	90	100	Levemente diferente
12	100	100	OK
13	100	100	OK
14	100	100	OK
15	100	100	OK
16	100	100	OK
17	100	100	OK
18	90	100	Levemente diferente
19	100	100	OK
20	100	100	OK
21	100	100	OK
22	100	100	OK
23	100	100	OK
24	100	90	Levemente diferente
25	100	100	OK

Fuente: Hoja de Análisis de embotelladora (2007)

Para rechazar la muestra ésta debe de tener un porcentaje inferior al 80% donde se presentan notas (sabor) a soda o a otra sustancia extraña.

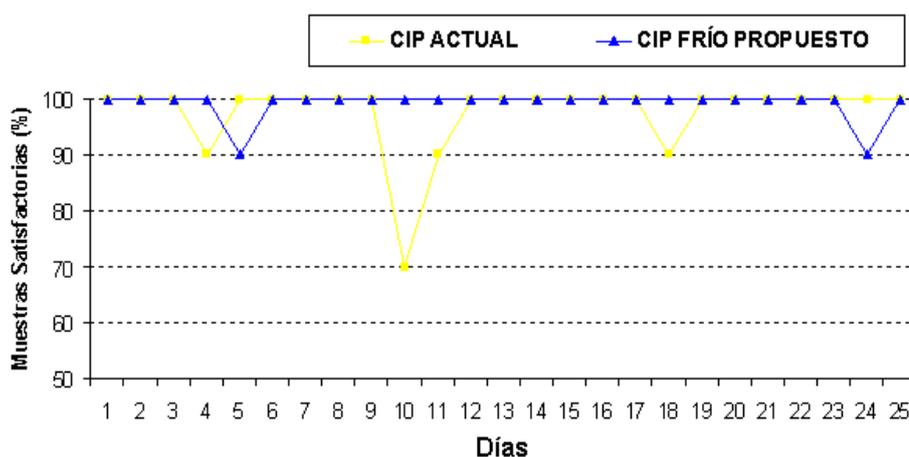


FIGURA 3.4. PORCENTAJE DE CALIFICACIÓN EN ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO

Al observar la Figura 3.4, se ve que en la limpieza # 10 no se hizo un enjuague efectivo con el método CIP Actual ya que dio como resultado un 70% de satisfacción. Se notó que en el agua de enjuague final quedó un ligero sabor a soda, y esto se comprueba al titular la muestra, que dio como resultado 0.024 % de Hidróxido de Sodio, lo que significa que se rechazó la muestra; mientras que con el CIP Frío todas las muestras fueron superiores al 90%, es decir, fueron aceptables; esto significa que la envasadora está

completamente limpia, sin residuos de soda (pues este detergente no contiene soda) y con un sabor a agua potable.

3.2 Costos

En este punto se describen los costos obtenidos de ambos métodos, por envasadora.

Al analizar la Tabla 18 se puede observar que el costo semanal de limpieza en una envasadora es de \$409,63 para el sistema CIP Actual, frente a \$221,84 para el sistema CIP Frío propuesto. Con esta información, proyectada a un año, se obtiene que para el sistema CIP Actual se gastaría \$39.324,28 en la limpieza de las dos envasadoras, frente al sistema CIP Frío propuesto que es de \$21.296,35, dándonos un ahorro por limpieza para las dos envasadoras de \$18.027,89 anuales, equivalente a una reducción del 46% en el costo.

TABLA 18
ANALISIS COMPARATIVO DE COSTOS POR ENVASADORA

AGUA (m ³)	CIP ACTUAL			CIP FRÍO			
	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)	
Enjuague inicial	4,06	1,90	7,71	4,06	1,90	7,71	
Detergente	4,06	1,90	7,71	4,06	1,90	7,71	
Enjuague detergente	4,06	1,90	7,71	4,06	1,90	7,71	
Enjuague final	4,06	1,90	7,71			-	
Enjuague de arranque	4,06	1,90	7,71			-	
Total costo (\$)			38,57			23,14	
AHORRO (%)	40,00						
DETERGENTES (kg)	CIP ACTUAL			CIP FRÍO			
	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)	
Soda	317,18	0,22	69,78			-	
Detergente ácido			-	40,60	2,70	109,62	
TOTAL COSTO			69,78			109,62	
AHORRO (%)	-57,09						
DESINFECTANTES (kg)	CIP ACTUAL			CIP FRÍO			
	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)	
PERACETICO				20,30	4,00	81,20	
ESTERILIZACIÓN AGUA (m3)	4,06	1,90	7,71			-	
ESTERILIZACIÓN VAPOR (kg)						-	
Pre Enjuague (kg vapor)	216,74	-	-			-	
Detergente (kg vapor)	403,57	-	-			-	
Enjuague (kg vapor)	216,74	-	-			-	
Desinfección (kg vapor)	403,57	-	-			-	
Arranque (kg vapor)	403,57	-	-			-	
Total Vapor	1.644,19	-	-			-	
FACTOR DE RENDIMIENTO (gal comb. /kg vapor)	0,14	-	-			-	
COMBUSTIBLE (gal)	230,19	1,05	241,70			-	
COSTO TOTAL			249,41			81,20	
AHORRO (%)	67,44						
MANO DE OBRA	CIP ACTUAL			CIP FRÍO			
	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)	
Tiempo de aseo (min)	180,00			35,00			
Hombres	3,00			3,00			
Hora-hombres	9,00	4,50	40,50	1,75	4,50	7,88	
TOTAL COSTO			40,50			7,88	
AHORRO (%)	80,56						
TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES (m3)	CIP ACTUAL			CIP FRÍO			
	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)	
Volumen	16,24	0,70	11,37	12,18	-	-	
TOTAL COSTO			11,37			-	
AHORRO (%)	100,00						
COSTO TOTAL DE LIMPIEZA		CIP ACTUAL			CIP FRÍO		
COSTO SEMANAL (\$)			409,63			221,84	
COSTO MENSUAL (\$)			1.638,51			887,35	
COSTO ANUAL (\$) (Una envasadora)			19.662,14			10.648,18	
COSTO ANUAL (\$) (Dos envasadoras)			39.324,28			21.296,35	
AHORRO (%)	45,84						

Realizado por: Luis Crespo Reyes, 2007
 En este costeo existen otros ahorros intangibles como son la disponibilidad de la línea y el aumento de la capacidad para envasar; todo esta va de la mano con el tiempo más corto que se tiene con el sistema en frío propuesto y se describe en la Tabla 19.

TABLA 19
COMPARACIÓN DE TIEMPOS ENTRE LOS DOS MÉTODOS CIP

ETAPA	CIP ACTUAL		CIP FRIO	
	Concentración (%v/v)	Tiempo (min)	Concentración (%v/v)	Tiempo (min)
Pre-enjuague		30		5
Detergente	2,5	60	1	20
Enjuague (agua 60°C)		30		5
Desinfección: agua 80°C -Peracético		60	0,5	5
TOTAL		180		35

Realizado por: Luis Crespo Reyes, 2007

No cuentan en nuestro cálculo el ahorro en consumo de energía eléctrica por la bomba prendida más tiempo en el sistema actual.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. En esta tesis se demostró que, implementando el sistema CIP Frío, también se pueden eliminar los residuos contaminantes del proceso, en una envasadora de bebidas gaseosas, llegando a parámetros microbiológicos y organolépticos similares al de los estándares de limpieza que se obtienen usando el método de limpieza CIP Actual.
2. Concluimos que el detergente ácido no reacciona con el CO₂ presente en los tanques y equipos, dándonos por lo tanto, menores tiempos empleados en el saneamiento, al no esperar purgar el CO₂ remanente en el sistema de envasado. También el detergente ácido trabaja con temperatura externa menor a 25°C, lo cual evita el crecimiento descontrolado de microorganismos en el exterior de la envasadora, y por su acción biostática protectora permite que no se sature la solución de limpieza, dando mayor ahorro con el re-uso

de las soluciones, que son almacenadas en los tanques CIP (interna), manteniendo su pureza y sin disminuir su función.

3. El sistema de limpieza CIP Frío presenta menores costos con respecto al CIP Actual: el costo del agua se disminuyó en un 40%; en desinfección, un 67%; en mano de obra, el 80%; y, en el tratamiento de aguas residuales, en un 100%. Aunque se registra un incremento del 57% en el costo del detergente, esto en la suma global, presenta un ahorro total de limpieza del 46%, traducándose en valores monetarios, a un ahorro de \$18.027,89 anuales, aún sin considerar el ahorro en energía eléctrica al no utilizar la bomba para calentar el agua. Además existe una mayor disponibilidad de la envasadora para producir ya que se reduce en un 80% el tiempo de limpieza.

4. El compuesto de limpieza propuesto es totalmente biodegradable ya que los ácidos se enjuagan y neutralizan fácilmente en el efluente, debido a que la mayoría de los desechos de las empresas embotelladoras son de carácter alcalino.

5. Adicionalmente con el sistema CIP Frío, se reducen los problemas mecánicos de implosión de la envasadora, debido a que el detergente trabaja muy bien en atmósferas con CO₂; también se mantienen en buenas condiciones los empaques, válvulas del sistema, etc. que generalmente se

dañan por trabajar a temperaturas superiores a los 60°C y son altamente corrosivos.

Recomendaciones

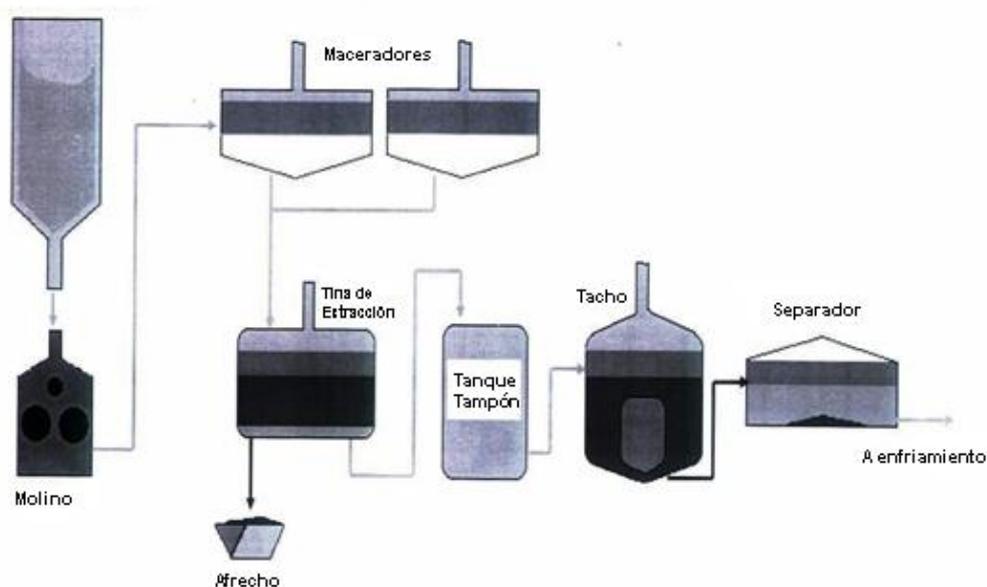
1. Es importante asegurar que la velocidad del fluido sea turbulento y/o superior para el CIP, es decir, de 1.5 m/s. con un caudal superior a 5 m³/h y con una presión de 133 kPa a lo largo del sistema. Esto siempre se mide en la sección transversal más larga de la tubería.
2. Cada tanque al que se le realice un CIP se le deberá instalar un rociador o spray ball, el mismo que permitirá realizar una limpieza completa, ya que al girar rocía el interior de las paredes del tanque desprendiendo de esta forma todo el residuo de producto que se encuentre en éste.
3. Deben de evitarse fugas y/o reboses en los tanques, tuberías y válvulas, y existir en el programa de mantenimiento una ruta de trabajo para revisar el sistema mecánico.
4. Para evitar resistencia de los microorganismos al medio ácido, se debe de limpiar cada seis meses con un detergente alcalino en frío, esto permite mantener estándares altos en los resultados que se dan en el sistema CIP Frío propuesto.

APÉNDICE

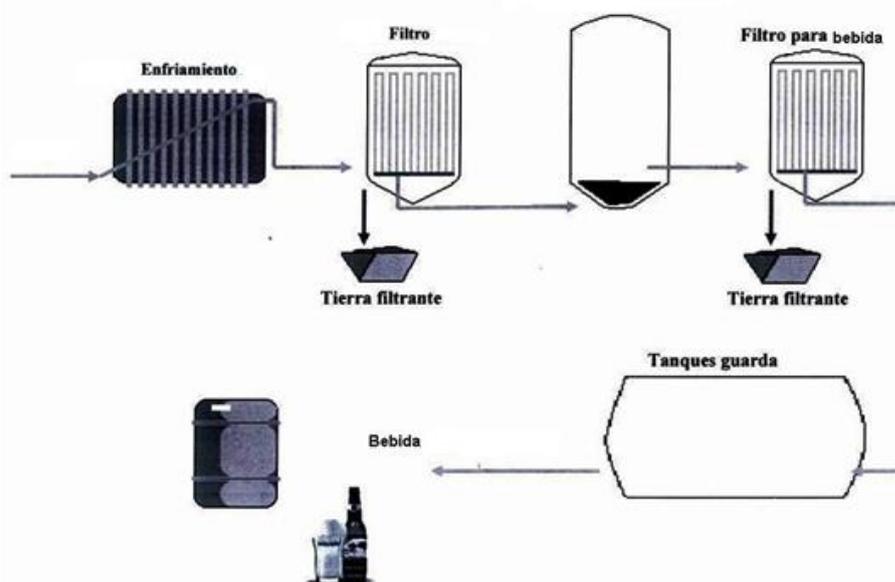
APÉNDICE 1

OPERACIONES EN UNA INDUSTRIA EMBOTELLADORA DE BEBIDAS

Operaciones en caliente:



Operaciones en frío:



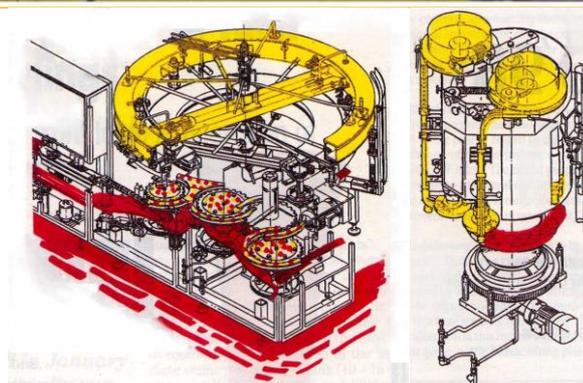
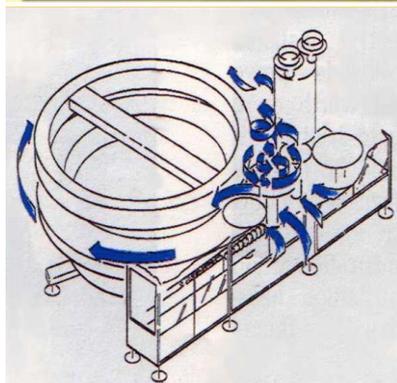
Fuente: Planta embotelladora de bebidas gaseosas, 2007

APÉNDICE 2

EQUIPOS DE LA ENVASADORA



EMBOTELLADORA



Flujos de aire

Zonas de riesgo en una envasadora

Fuente: Planta embotelladora de bebidas gaseosas, 2007

APÉNDICE 2 (continuación)

LAVADORA DE BOTELLAS

LAVADORA



TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE BEBIDA GASEOSA

DEPOSITOS



Fuente: Planta embotelladora de bebidas gaseosas, 2007

APÉNDICE 3

FORMULARIO DE AUDITORÍA DE IMPLEMENTACIÓN DE CIP FRIO

1. Cliente			
Dirección: _____			
Persona de contacto: _____			
Teléfono/ Fax: _____			
Correo electrónico: _____			
2. Equipo a limpiar			
Breve descripción: _____			
El equipo es:	<input type="checkbox"/> Existente	<input type="checkbox"/> Se le planea instalar	
Modo de uso	<input type="checkbox"/> Totalmente automático	<input type="checkbox"/> PLC: _____	
	<input type="checkbox"/> Semi-automático		
	<input type="checkbox"/> Manual		
Actualmente, se efectúa limpieza del equipo	<input type="checkbox"/> Usando un CIP existente		
	<input type="checkbox"/> En forma totalmente automática	<input type="checkbox"/> PLC: _____	
	<input type="checkbox"/> En forma semi-automática		
	<input type="checkbox"/> Manual		
Tipo de residuo en tanques y líneas a sanear: _____			
3. Tanques a limpiar (sistemas abiertos)			
Tipo	<input type="checkbox"/> Vertical	<input type="checkbox"/> Horizontal	<input type="checkbox"/> Ambos <input type="checkbox"/> Ambos <input type="checkbox"/> Otros
	<input type="checkbox"/> Sin presión	<input type="checkbox"/> Bajo presión (ej. CKT)	
Equipo de pulverización:	<input type="checkbox"/> Spray ball	<input type="checkbox"/> Marca Diversey	
Otros equipos	<input type="checkbox"/> Describir _____	<input type="checkbox"/> Ninguno	
Dimensiones del tanque a usar:			
Diámetro: _____ mm			
Altura: _____ m m (tanque vertical)			
Longitud: _____ m m (tanque horizontal)			
Tubería más lejana desde el CIP hasta los tanques a limpiar (cálculo aproximado)			
Diámetro DN: _____ mm			
Longitud: _____ m			
Tubería más lejana desde los tanques y de regreso al CIP (cálculo aproximado)			
Diámetro DN: _____ mm			
Longitud: _____ m			
La bomba de Envío de solución de limpieza está disponible			
<input type="checkbox"/> Para todos los tanques?			
<input type="checkbox"/> Para algunos tanques (cálculo aproximado en _____ %)?			
<input type="checkbox"/> Para ninguno de los tanques?			
Especificaciones de dicha bomba: _____			
Las diferencias de altura entre la posible área de ubicación del CIP y el spray ball del tanque que más alto está ubicado:			
H = _____ m			
La bomba de Retorno de solución de limpieza al CIP está disponible			
<input type="checkbox"/> Para todos los tanques?			
<input type="checkbox"/> Para algunos tanques (cálculo aproximado en _____ %)?			
<input type="checkbox"/> Para ninguno de los tanques?			
Especificaciones de dicha (s) bomba(s) _____			

Realizado por: Luis Crespo Reyes, 2007
APÉNDICE 3 (continuación)

4. Sistemas cerrados de limpieza (tuberías, pasteurizadores, enfriadores y otros equipos cuya limpieza se efectúa por recirculación, inundación)+

Mayor diámetro interno nominal: DN= _____ (diámetro interno en m.m.)
 Mayor volumen a limpiar:
 - del circuito de tubería solamente V= _____ L (litros)
 - del equipo, limpieza por inundación V= _____ L (litros)
 (incluida la cañería de ida y vuelta del CIP.)
 Mayor diferencia de altura en el circuito a limpiar _____ m
 (diferencia entre el punto más alto y el más bajo del circuito)

5. Número necesario de líneas de estación CIP
 ¿Se sabe cuántas líneas de envío/retorno debe tener una estación para desarrollar limpiezas CIP simultáneas?

Sí No

En caso afirmativo:
 1 línea 2 líneas 3 líneas más, ¿Cuántas? _____

En caso negativo, completar la siguiente información:
 Número estimado de circuitos a limpiar: _____
 Número estimado de limpiezas por día: _____
 Tiempo estimado de limpieza por día _____ horas

6. Tanques de almacenamiento CIP requeridos
 Considerar el supuesto proceso y los productos propuestos:

Agua Recuperada (del retorno del enjuague detergente).
 Temperatura trabajo: _____

Detergente Alcalino/Alcalino Clorado – Especificar .
 Temperatura trabajo: _____

Limpiador Acido/Detergente Acido- Especificar producto
 Temperatura trabajo: _____

Desinfectante – Especificar producto y su recuperación.
 Temperatura trabajo: _____

Tanque para Agua potable.
 Temperatura trabajo: _____

Considera Desinfección en línea sin tanque de recuperación de productos:
 Sí
 No

7. Dosificación requerida de productos

Detergente Alcalino

Aditivo para Soda cáustica

Limpiador Ácido /Detergente Acido

Aditivo para ácido

Desinfección – especificar producto

Otros – especificar productos.

8. Disponibilidad de Servicios

Agua a Presión . Cual? _____ psi

Energía eléctrica. Voltaje: _____ Volt. ; Amperaje: _____ A

Vapor saturado:

Retorno de Condensados

Aire a Presión: Cual? _____ psi

Nombre de Quien completó el presente formulario _____
 Lugar: _____ Fecha: _____

Realizado por: Luis Crespo Reyes, 2007

APÉNDICE 4

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA A LA PRESIÓN DE SATURACIÓN

<i>t</i> (°C)	<i>T</i> (K)	Densidad <i>ρ</i> (kg/m ³)	Coeficiente de expansión térmica volumétrica		Calor específico <i>c_p</i> (kJ/kg · K)	Conductividad térmica <i>k</i> (W/m · K)	Difusividad térmica <i>α</i> (× 10 ⁻⁶ m ² /s)	Viscosidad absoluta <i>μ</i> (× 10 ⁻⁶ Pa · s)	Viscosidad cinemática <i>ν</i> (× 10 ⁻⁶ m ² /s)	Número de Prandtl <i>Pr</i>
			<i>β</i> (× 10 ⁻⁴ K ⁻¹)	<i>β_p</i> (× 10 ⁻⁶ m ² /s)						
0	273.15	999.9	-0.7		4.226	0.558	0.131	1793.636	1.789	13.7
5	278.15	1000.0	—		4.206	0.568	0.135	1534.741	1.535	11.4
10	283.15	999.7	0.95		4.195	0.577	0.137	1296.439	1.300	9.5
15	288.15	999.1	—		4.187	0.587	0.141	1135.610	1.146	8.1
20	293.15	998.2	2.1		4.182	0.597	0.143	993.414	1.006	7.0
25	298.15	997.1	—		4.178	0.606	0.146	880.637	0.884	6.1
30	303.15	995.7	3.0		4.176	0.615	0.149	792.377	0.805	5.4
35	308.15	994.1	—		4.175	0.624	0.150	719.808	0.725	4.8
40	313.15	992.2	3.9		4.175	0.633	0.151	658.026	0.658	4.3
45	318.15	990.2	—		4.176	0.640	0.155	605.070	0.611	3.9
50	323.15	988.1	4.6		4.178	0.647	0.157	555.056	0.556	3.55
55	328.15	985.7	—		4.179	0.652	0.158	509.946	0.517	3.27
60	333.15	983.2	5.3		4.181	0.658	0.159	471.650	0.478	3.00
65	338.15	980.6	—		4.184	0.663	0.161	435.415	0.444	2.76
70	343.15	977.8	5.8		4.187	0.668	0.163	404.034	0.415	2.55

Fuente: Abreviado de Keenan *et al.* (1969) Copyright © 1969 John Wiley and Sons. Impreso con permiso de John Wiley and Sons, Inc.

APÉNDICE 5

PROPIEDADES DEL VALOR SATURADO

Temperatura (°C)	Presión de vapor (kPa)	Volumen específico (m ³ /kg)		Entalpía (kJ/kg)		Entropía (kJ/kg · K)	
		Líquido	Vapor saturado	Líquido (H _l)	Vapor saturado (H _g)	Líquido	Vapor saturado
0.01	0.6113	0.0010002	206.136	0.00	2501.4	0.0000	9.1562
3	0.7577	0.0010001	168.132	12.57	2506.9	0.0457	9.0773
6	0.9349	0.0010001	137.734	25.20	2512.4	0.0912	9.0003
9	1.1477	0.0010003	113.386	37.80	2517.9	0.1362	8.9253
12	1.4022	0.0010005	93.784	50.41	2523.4	0.1806	8.8524
15	1.7051	0.0010009	77.926	62.99	2528.9	0.2245	8.7814
18	2.0640	0.0010014	65.038	75.58	2534.4	0.2679	8.7123
21	2.487	0.0010020	54.514	88.14	2539.9	0.3109	8.6450
24	2.985	0.0010027	45.883	100.70	2545.4	0.3534	8.5794
27	3.567	0.0010035	38.774	113.25	2550.8	0.3954	8.5156
30	4.246	0.0010043	32.894	125.79	2556.3	0.4369	8.4533
33	5.034	0.0010053	28.011	138.33	2561.7	0.4781	8.3927
36	5.947	0.0010063	23.940	150.86	2567.1	0.5188	8.3336
40	7.384	0.0010078	19.523	167.57	2574.3	0.5725	8.2570
45	9.593	0.0010099	15.258	188.45	2583.2	0.6387	8.1648
50	12.349	0.0010121	12.032	209.33	2592.1	0.7038	8.0763
55	15.758	0.0010146	9.568	230.23	2600.9	0.7679	7.9913
60	19.940	0.0010172	7.671	251.13	2609.6	0.8312	7.9096
65	25.03	0.0010199	6.197	272.06	2618.3	0.8935	7.8310
70	31.19	0.0010228	5.042	292.98	2626.8	0.9549	7.7553
75	38.58	0.0010259	4.131	313.93	2635.3	1.0155	7.6824
80	47.39	0.0010291	3.407	334.91	2643.7	1.0753	7.6122
85	57.83	0.0010325	2.828	355.90	2651.9	1.1343	7.5445
90	70.14	0.0010360	2.361	376.92	2660.1	1.1925	7.4791
95	84.55	0.0010397	1.9819	397.96	2668.1	1.2500	7.4159
100	101.35	0.0010435	1.6729	419.04	2676.1	1.3069	7.3549
105	120.82	0.0010475	1.4194	440.15	2683.8	1.3630	7.2958
110	143.27	0.0010516	1.2102	461.30	2691.5	1.4185	7.2387
115	169.06	0.0010559	1.0366	482.48	2699.0	1.4734	7.1833
120	198.53	0.0010603	0.8919	503.71	2706.3	1.5276	7.1296
125	232.1	0.0010649	0.7706	524.99	2713.5	1.5813	7.0775
130	270.1	0.0010697	0.6685	546.31	2720.5	1.6344	7.0269
135	313.0	0.0010746	0.5822	567.69	2727.3	1.6870	6.9777
140	316.3	0.0010797	0.5089	589.13	2733.9	1.7391	6.9299
145	415.4	0.0010850	0.4463	610.63	2740.3	1.7907	6.8833
150	475.8	0.0010905	0.3928	632.20	2746.5	1.8418	6.8379
155	543.1	0.0010961	0.3468	653.84	2752.4	1.8925	6.7935
160	617.8	0.0011020	0.3071	675.55	2758.1	1.9427	6.7502
165	700.5	0.0011080	0.2727	697.34	2763.5	1.9925	6.7078
170	791.7	0.0011143	0.2428	719.21	2768.7	2.0419	6.6663
175	892.0	0.0011207	0.2168	741.17	2773.6	2.0909	6.6256
180	1002.1	0.0011274	0.19405	763.22	2778.2	2.1396	6.5857
190	1254.4	0.0011414	0.15654	807.62	2786.4	2.2359	6.5079
200	1553.8	0.0011565	0.12736	852.45	2793.2	2.3309	6.4323
225	2548	0.0011992	0.07849	966.78	2803.3	2.5639	6.2503
250	3973	0.0012512	0.05013	1085.36	2801.5	2.7927	6.0730
275	5942	0.0013168	0.03279	1210.07	2785.0	3.0208	5.8938
300	8581	0.0010436	0.02167	1344.0	2749.0	3.2534	5.7045

Fuente: Abreviado de Keenan *et al.* (1969) Copyright © 1969 John Wiley and Sons. Impreso con permiso de John Wiley and Sons, Inc.

APÉNDICE 6

PRUEBA CON EL LUMINÓMETRO

Muestreo:

1. Sacar el hisopo del tubo.
2. Frotar sobre la superficie (aprox. 10 x 10 cm)
3. Colocar el hisopo dentro de tubo.



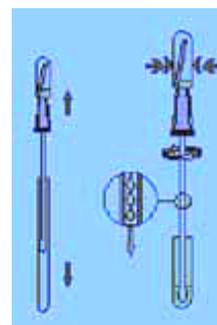
Activación de test:

1. Girar el BioFix® ATP-Pen sobre su cabeza
2. Doblar el bulbo del ATP-Pen con el dedo índice y apretar hasta que la punta de la válvula azul se rompa.



Reacción:

1. Sacar con cuidado el hisopo fuera del tubo y colocarlo en el fondo de una cubeta (12 x 45 mm).
2. Presionar el bulbo del ATP-Pen dos veces.
3. Agitar la punta del hisopo en esta solución durante unos 10 segundos para liberar cualquier resto de muestra adherido.
4. Escurrir apretando la punta del hisopo contra la pared de la cubeta y sacarla



Medida:

Colocar la cubeta en el portacubetas del luminómetro, cerrar la tapa y comenzar la medición.



Fuente: Laboratorio de embotelladora de bebidas gaseosas, 2007

APÉNDICE 7**TABLA DE ACEPTACIÓN: ANÁLISIS DE LUMINOMETRÍA**

RLU's	CALIFICACIÓN
<2,5	Aceptable
2,5-3	Regular
3-3,5	Inaceptable
3,5>	Inaceptable

Fuente: Hoja de Análisis de embotelladora (2007)

APÉNDICE 8

PARÁMETROS PORCENTUALES DE SATISFACCIÓN EN LA INDUSTRIA

ENVASADORA

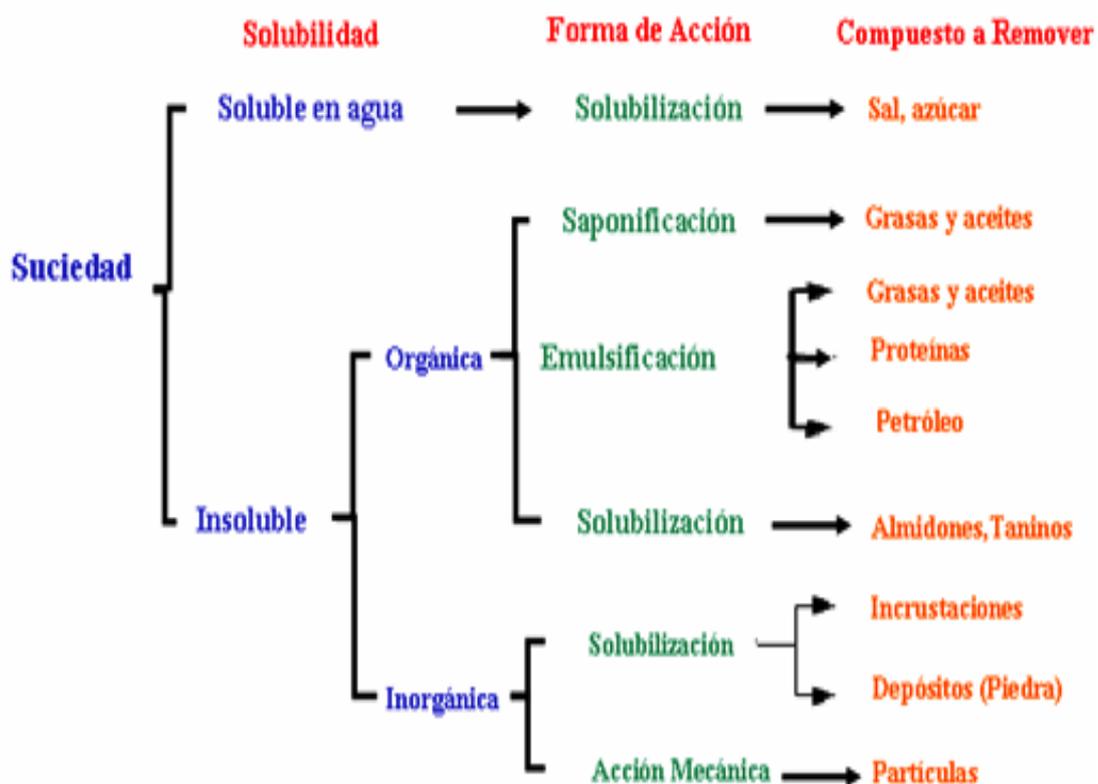
MICROBIOLOGÍA DE AEROBIOS Y HONGOS

RANGO	UNIDAD	%	CALIFICACIÓN
<10- 20	UFC/g	100	Aceptable
20-40	UFC/g	98	Aceptable
40-60	UFC/g	96	Aceptable
60-80	UFC/g	94	Aceptable
80-100	UFC/g	92	Aceptable
100-120	UFC/g	90	Aceptable
120-140	UFC/g	88	Aceptable
140-160	UFC/g	86	Aceptable
160-180	UFC/g	84	Aceptable
180-200	UFC/g	82	Aceptable
200-220	UFC/g	80	Aceptable
220-240	UFC/g	78	Aceptable
240-260	UFC/g	76	Aceptable
260-280	UFC/g	74	Aceptable
280-320	UFC/g	72	Aceptable
320->	UFC/g	70	No Aceptable

Fuente: Hoja de Análisis de embotelladora, 2007

APÉNDICE 9

SUCIEDADES Y SUS FORMAS DE ELIMINACIÓN



APÉNDICE 10
COMPOSICIÓN DE LA BEBIDA GASEOSA

BIBLIOGRAFÍA

1. LARRAÑAGA IDELFONSO, CARVALLO JULIO, RODRIGUEZ M^A DEL MAR y FERNÁNDEZ JOSÉ; Control e higiene de los alimentos, Editorial Mc Graw Hill, España, 1999
2. SENSER FRIEDRICH y SCHERZ HEIMO; Tablas de composición de alimentos, Editorial Acribia S.A., Zaragoza – España, 1999
3. SINGH R. PAUL y HELDMAN DENNIS; Introducción a la Ingeniería de los Alimentos, Editorial Acribia S.A., Zaragoza – España, 1998
4. WILDBRETT GERHARD; Limpieza y Desinfección en la industria alimentaria, Editorial Acribia S.A., Zaragoza – España, 2000
5. YOUSEF AHMED E. y CARLSTROM CAROLYN; Microbiología de los alimentos: Manual de laboratorio, Editorial Acribia S.A., Zaragoza – España, 2006
6. www.biofilm.com