

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN Y MEJORA DEL DESEMPEÑO OPERACIONAL DEL SISTEMA DE LIMPIEZA EN SITIO CORRESPONDIENTE A LA LÍNEA DE ENVASADO DEL PRODUCTO MALTÍN POLAR EN BOTELLAS DE POLIETILEN TEREFALATO

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Sogbe M., Mónica A.
Para optar al Título
de Ingeniero Químico

Caracas, 2010

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN Y MEJORA DEL DESEMPEÑO OPERACIONAL DEL SISTEMA DE LIMPIEZA EN SITIO CORRESPONDIENTE A LA LÍNEA DE ENVASADO DEL PRODUCTO MALTÍN POLAR EN BOTELLAS DE POLIETILEN TEREFALATO

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Leonardo Oropeza
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Jennifer Fuenmayor

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Sogbe M., Mónica A.
Para optar al Título
de Ingeniero Químico

Caracas, 2010

Caracas, Mayo de 2010

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Mónica Alejandra Sogbe Mora, titulado:

“EVALUACIÓN Y MEJORA DEL DESEMPEÑO OPERACIONAL DEL SISTEMA DE LIMPIEZA EN SITIO CORRESPONDIENTE A LA LÍNEA DE ENVASADO DEL PRODUCTO MALTÍN POLAR EN BOTELLAS DE POLIETILEN TEREFALATO”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. María Rodríguez

Jurado

Prof. Andrés Rosales

Jurado

Prof. Leonardo Oropeza

Tutor Académico

Ing. Jennifer Fuenmayor

Tutor Industrial

DEDICATORIA

A mis padres, con cariño, admiración y respeto,
por infundir en mí la ética y el rigor que guían mi desempeño profesional.

A mi hermana,
por su presencia incondicional a pesar de la distancia,
y ser la mejor hermana que alguien pueda tener.

A Carlos,
por su apoyo y comprensión durante el tiempo que dediqué a este trabajo de Tesis.

A mi tutora industrial, Jennifer,
por ayudarme a dar forma a este trabajo, además de su apoyo, tiempo y paciencia.

AGRADECIMIENTOS

A la ilustre Universidad Central de Venezuela, donde tuve la grata oportunidad de desarrollarme como profesional y persona.

A mi tutor académico, Leonardo Oropeza, por brindarme su confianza, disposición y apoyo en todo momento. Gracias por el tiempo dedicado y por su colaboración durante la realización de este Trabajo Especial de Grado.

A mi tutora industrial, Jennifer Fuenmayor, por su asesoramiento y estímulo para seguir creciendo profesionalmente. Además de su predisposición permanente e incondicional en aclarar mis dudas y sus observaciones críticas durante la redacción de éste trabajo, el cual no habría sido posible sin ella. Gracias especialmente por su generosidad al brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia laboral en un marco de confianza, afecto y amistad. Nunca será suficiente mi agradecimiento a ella.

A Cervecería Polar C.A., por brindarme la oportunidad de realizar mi primera experiencia laboral en esta prestigiosa empresa, además de permitirme continuar mi crecimiento profesional.

A Álvaro Giménez y Rafael Sucre, quienes confiaron en mí y me propusieron a Cervecería Polar C.A. para la realización de éste trabajo.

Al equipo de personas que integran la Gerencia de Evaluación de Procesos y la Gerencia de Envasado, por su disposición constante y desinteresada ayuda. Muy especialmente a Eduardo Lugo, Clara Rodríguez y Pablo Tosta, por sus valiosas sugerencias y acertados aportes durante el desarrollo de este trabajo, así como por su amistad.

A todo el personal que conforma el Laboratorio Central, por su amabilidad, disposición y apoyo en todo momento. Especialmente a Eneida Medina y Carolina

Wehrmann, por proporcionarme las herramientas necesarias para llevar a cabo esta investigación.

De manera especial al equipo de trabajadores pertenecientes a la Línea de Envasado PET, por permitirme recurrir a su experiencia y conocimientos. Gracias especialmente a Nelson Carrillo, José Miguel D’Lucca y Álvaro Vitti, cuyos aportes fueron fundamentales durante el trabajo de campo.

A los Profesores de la Facultad de Ingeniería y la Escuela de Ingeniería Química, por contribuir en mi formación profesional. Muy especialmente a Humberto Kum y María Rodríguez, por su comprensión, disposición y entrega para con sus alumnos.

A todas las amistades que he cultivado durante mi etapa universitaria. Particularmente quiero agradecer a César Roldán y Kira Cook, por ser amigos fieles e incondicionales que me han brindado su apoyo en cada momento. Mil gracias por los momentos que pasamos juntos y por ser los mejores amigos.

A todos mis compañeros de pasantía, sin excluir a ninguno, pero en especial a Claudia, Danesa, Daniela, Fabiola, Jorge, José, Juan, Leonardo, Luis, Noeliz, Pedro y Vanessa, muchísimas gracias por su calidez y compañerismo.

A todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron a este logro...
Gracias.

Sogbe M., Mónica A.

**EVALUACIÓN Y MEJORA DEL DESEMPEÑO OPERACIONAL DEL
SISTEMA DE LIMPIEZA EN SITIO CORRESPONDIENTE A LA LÍNEA DE
ENVASADO DEL PRODUCTO MALTÍN POLAR EN BOTELLAS DE
POLIETILEN TEREFALATO**

Tutor Académico: Prof. Leonardo Oropeza. Tutor Industrial: Ing. Jennifer Fuenmayor. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

Año 2010, 151 páginas.

Palabras Claves: Limpieza en Sitio (CIP), Detergente, Desinfectante, Proceso de Envasado, Control de Calidad, Optimización.

Resumen.

Durante el proceso de envasado de alimentos es de vital importancia la limpieza de los equipos que tienen contacto directo con el producto, para así garantizar la conservación de la calidad en el producto final.

El propósito del presente trabajo consistió en generar propuestas para lograr la optimización del sistema de limpieza en sitio (CIP) perteneciente a una línea de envasado de malta, mediante la disminución del consumo de las sustancias limpiadoras, así como de los tiempos de operación. Es de resaltar que los altos consumos en el proceso y la demora del mismo, redundan en gastos adicionales para la empresa que se traducen en pérdidas significativas de productividad.

El estudio comenzó con un análisis del proceso de limpieza en sitio (CIP), donde se identificaron las fallas y las oportunidades de mejora para este proceso, utilizando herramientas estadísticas de control de calidad que permitieron el mejoramiento y la resolución de los problemas detectados.

Tomando en cuenta la situación analizada se plantearon propuestas para disminuir el consumo del detergente, desinfectante y agua de enjuague empleados en el sistema. Estas propuestas también permitieron reducir la brecha entre los tiempos programados de la ejecución del CIP y los resultados actuales.

De esta manera se determinó que las oportunidades de ahorro de consumo de las sustancias de limpieza en el CIP es del 96,8% para el detergente, 71,3% para el desinfectante y 57,9% para el agua. Por otra parte, la reducción del tiempo de operación fue del 19,1%. Representando una reducción de costos de operación del proceso igual a Bs.F 21885,04 por cada mes.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.3. OBJETIVOS	6
1.3.1. Objetivo General	6
1.3.2. Objetivos Específicos.....	6
CAPÍTULO II	7
2.1. MALTA	7
2.1.1. Componentes de la Malta.....	7
2.1.2. Proceso de Elaboración de Malta.....	8
2.1.2.1. Cocimiento	8
2.1.2.2. Maduración.....	10
2.1.2.3. Clarificación de la Malta	11
2.1.3. Proceso de Envasado de Malta en Botellas PET.....	11
2.1.3.1. Enjuague de Envases	12
2.1.3.2. Pasteurización Flash	12
2.1.3.3. Llenado	13
2.1.3.4. Pasteurización.....	13
2.1.3.5. Embalaje.....	14
2.2. LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN	15
2.2.1. Limpieza.....	15
2.2.2. Desinfección.....	15
2.2.3. Suciedad	16
2.2.3.1. Composición de la Suciedad	17
2.2.3.2. Tipos de Suciedad	17

2.2.4. Selección del Producto de Limpieza Adecuado.....	19
2.2.4.1. La naturaleza de la suciedad.....	19
2.2.4.2. La naturaleza de la superficie a limpiar.....	19
2.2.4.3. Método de aplicación	20
2.2.4.4. Propiedades del agua	20
2.2.4.5. Cuidado del medio ambiente.....	21
2.2.5. Detergentes.....	21
2.2.5.1. Clasificación de los Detergentes	23
2.2.6. Desinfectantes	24
2.2.6.1. Clasificación de los Desinfectantes	25
2.2.7. Sistema de Limpieza en Sitio (CIP).....	27
2.2.7.1. Componentes de una Estación CIP.....	28
2.2.7.2. Tipos de CIP	30
2.2.7.3. Ventajas y Desventajas de los Sistemas CIP	31
2.2.7.4. Elementos de Control de los Sistemas CIP	32
2.2.7.5. Sistema CIP de la línea de Envasado de Botellas PET	35
2.3. CALIDAD	38
2.3.1. Calidad Microbiológica.....	39
2.3.2. Buenas Prácticas de Manufactura (BPM)	39
2.3.2.1. Aplicación de las BPM.....	40
2.3.3. Control de Calidad	42
2.4. HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN Y OPORTUNIDADES DE MEJORA.....	43
2.4.1. Análisis Estadístico	43
2.4.1.1. Clasificación de la Estadística.....	43
2.4.1.2. Control Estadístico de Procesos	44
2.4.2. Ecuación General de la Energía	50
2.4.3. Balance de Masa	52
CAPÍTULO III.....	53

3.1. CONOCER EL PROCESO DE MANUFACTURA DEL PRODUCTO MALTÍN POLAR Y LA OPERACIÓN DEL SISTEMA CIP.....	53
3.2. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN ACTUALES DEL SISTEMA	54
3.3. DETERMINACIÓN DE LAS CANTIDADES ÓPTIMAS DE AGUA DE ENJUAGUE.....	56
3.4. DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LA SOLUCIÓN DETERGENTE EMPLEADA EN EL SISTEMA CIP.....	57
3.5. IDENTIFICACIÓN DE UN NUEVO QUÍMICO DE LIMPIEZA QUE DISMINUYA COSTOS Y TIEMPOS DE OPERACIÓN.....	59
3.6. GENERACIÓN DE UN PLAN ESTRATÉGICO DE MEJORA OPERACIONAL DEL SISTEMA CIP	60
CAPÍTULO IV	61
4.1. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN ACTUALES DEL SISTEMA	61
4.1.1. Monitoreo de los Parámetros de Limpieza.....	61
4.1.1.1. Concentración del Detergente	61
4.1.1.2. Concentración del Desinfectante.....	68
4.1.1.3. Temperatura de Operación del Detergente.....	73
4.1.1.4. Temperatura de Operación del Desinfectante	74
4.1.1.5. Tiempos de Operación.....	83
4.1.2. Análisis de las Posibles Causas del Problema.....	90
4.1.2.1. Consumo Elevado de Detergente	90
4.1.2.2. Consumo Elevado de Desinfectante.....	97
4.1.2.3. Tiempos de Operación Elevados.....	100
4.2. DETERMINACIÓN DE LAS CANTIDADES ÓPTIMAS DE AGUA DE ENJUAGUE.....	101
4.2.1. Volumen Óptimo de Agua de Enjuague Requerido en el CIP.....	101
4.2.1.1. Volumen de la Tubería del Circuito	102
4.2.1.2. Volumen retenido por el Tanque Buffer durante el CIP	103
4.2.1.3. Volumen retenido por la Llenadora de Botellas durante el CIP....	103
4.2.1.4. Volumen retenido por el Pasteurizador Flash durante el CIP	104

4.2.2. Consumo Actual de Agua en cada uno de los Enjuagues del CIP.....	105
4.3. DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LA SOLUCIÓN DETERGENTE EMPLEADA EN EL SISTEMA CIP	108
4.3.1. Concentración de Soda Cáustica.....	108
4.3.2. Concentración de Carbonato de Sodio.....	111
4.3.3. Contenido de Sólidos Totales Suspendidos y Apariencia de la Solución Detergente	115
4.3.4. Costos Asociados al Consumo de Soda Cáustica	118
4.4. IDENTIFICACIÓN DE UN NUEVO QUÍMICO DE LIMPIEZA QUE DISMINUYA COSTOS Y TIEMPOS DE OPERACIÓN	120
4.5. GENERACIÓN DE UN PLAN ESTRATÉGICO DE MEJORA OPERACIONAL DEL SISTEMA CIP	130
4.5.1. Propuestas de Mejora Asociadas al Consumo de Soda Cáustica.....	130
4.5.1.1. Disminución del Set Point de Concentración del CIP.....	130
4.5.1.2. Aumento del Volumen Suministrado de Detergente para Inundar el Sistema	130
4.5.1.3. Sustitución del Agua Empleada en la Ejecución del CIP.....	131
4.5.1.4. Conservación de la Solución Detergente.....	131
4.5.1.5. Adiestramiento de los Operadores del Sistema.....	132
4.5.1.6. Implementación de un de Registro de las Variables del Sistema..	132
4.5.2. Propuestas de Mejora Asociadas al Consumo de Oxonia.....	132
4.5.1.1. Disminución de la Cantidad de Oxonia Dosificada por la Bomba	133
4.5.1.2. Instalación de un Contador de Litros a Dosificar de Oxonia	133
4.5.1.3. Modificación del Sistema de Dosificación de Oxonia	134
4.5.3. Propuestas de Mejora Asociadas al Consumo de Agua.....	135
4.5.3.1. Disminución de los Tiempos de Operación de cada uno de los Enjuagues del CIP	136
4.5.3.2. Recuperación del Enjuague Final del CIP.....	137
4.5.3.3. Disminución del Consumo de Agua Empleada en la Preparación de la Solución Detergente	138
4.5.4. Propuestas de Mejora Asociadas a la Disminución de Tiempos de Operación	139

4.5.5. Oportunidad Total de Ahorro en el Sistema	139
CONCLUSIONES.....	141
RECOMENDACIONES.....	143
BIBLIOGRAFÍA.....	144
ANEXOS	Error! Bookmark not defined.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Proceso de Producción de Malta	8
Figura N° 2. Etapa de Cocimiento	10
Figura N° 3. Clarificación de la Malta	11
Figura N° 4. Proceso de Envasado de Malta en Botellas PET.....	14
Figura N° 5. Estación de Limpieza CIP.....	29
Figura N° 6. Sistema CIP de Pérdida Total	30
Figura N° 7. Sistema CIP de Recuperación	31
Figura N° 8. Circuito Recorrido por la solución de Limpieza del CIP	37
Figura N° 9. Estructura Básica de un Diagrama de Pareto	46
Figura N° 10. Estructura Básica de un Diagrama Causa-Efecto	47
Figura N° 11. Estructura Básica de un Gráfico de Control.....	48
Figura N° 12. Comportamiento de la Concentración de Soda Cáustica en Función de los Días de Monitoreo	62
Figura N° 13. Recorrido de la Soda Cáustica en el CIP	65
Figura N° 14. Comportamiento de la Concentración de Soda Cáustica en Función de los Días de Monitoreo luego de las Modificaciones	67
Figura N° 15. Comportamiento de la Concentración de Oxonia en Función de los Días de Monitoreo.....	69
Figura N° 16. Balance de Masa para Determinar la Cantidad de Oxonia a Dosificar en el CIP	70
Figura N° 17. Comportamiento de la Concentración de Oxonia en Función de los Días de Monitoreo luego de las Modificaciones.....	72
Figura N° 18. Comportamiento de la Temperatura de Soda Cáustica en Función de los Días de Monitoreo	73
Figura N° 19. Comportamiento de la Temperatura de Oxonia en Función de los Días de Monitoreo	75

Figura N° 20. Comportamiento de la Velocidad de Flujo en Tuberías de 65 mm de Diámetro en Función de los Días de Monitoreo	77
Figura N° 21. Comportamiento de la Velocidad de Flujo en Tuberías de 80 mm de Diámetro en Función de los Días de Monitoreo	78
Figura N° 22. Comportamiento de la Velocidad de Flujo en Tuberías de 100 mm de Diámetro en Función de los Días de Monitoreo	78
Figura N° 23. Puntos Tomados en Cuenta en la Ecuación General de Energía	81
Figura N° 24. Curva Característica de la Bomba Según el Fabricante en Relación a la Curva Característica del Sistema	82
Figura N° 25. Demora del CIP en Alcanzar Condiciones de Temperatura y Concentración en el Enjuague de Agua Intermedio.....	86
Figura N° 26. Diagrama Causa-Efecto del Consumo de Soda Cáustica en el CIP....	90
Figura N° 27. Comparación entre una Solución de Soda Cáustica en Buenas Condiciones “A” y la Solución de Soda Cáustica al Finalizar el CIP	93
Figura N° 28. Comparación entre la Solución de Prueba “A” y la Solución al Finalizar el CIP “B”	95
Figura N° 29. Diagrama de Pareto para las Causas del Consumo Elevado de Soda Cáustica.....	96
Figura N° 30. Diagrama Causa-Efecto del Consumo de Oxonia en el CIP.....	97
Figura N° 31. Diagrama de Pareto para las Causas del Consumo Elevado de Oxonia	99
Figura N° 32. Balance de Masa Global del CIP de la Línea de Envasado PET	105
Figura N° 33. Comportamiento de la Concentración de Soda Cáustica Antes y Después del CIP	110
Figura N° 34. Comportamiento de la Concentración de Carbonato de Sodio en la Solución de Soda Cáustica Antes y Después del CIP	113
Figura N° 35. Comparación entre la Concentración de Soda Cáustica y la Concentración de Carbonato de Sodio Antes de Realizar el CIP	114
Figura N° 36. Comparación entre la Concentración de Soda Cáustica y la Concentración de Carbonato de Sodio al Finalizar el CIP.....	114

Figura N° 37. Contenido de Sólidos Suspendidos en la Solución Detergente.....	117
Figura N° 38. Procedimiento Tradicional de Limpieza CIP	126
Figura N° 39. Procedimiento de Limpieza CIP Advantis comparado con el CIP Tradicional	127
Figura N° 40. Contenedor de Oxonia y Manguera de Succión.....	134
Figura N° 41. Instalación Propuesta para la Dosificación de Oxonia.....	135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Características de Solubilidad de las Suciedades en la Industria de Malta	17
Tabla N° 2. Condiciones Sugeridas del Agua para Aplicaciones de Limpieza y Sanitación	21
Tabla N° 3. Efecto de altas temperaturas del detergente sobre la eficacia de la limpieza	34
Tabla N° 4. Media, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación de los Datos Recolectados para Concentración de Soda Cáustica	63
Tabla N° 5. Comparación entre la Conductividad Reportada por el Sistema CIP y la Determinada en Laboratorio	64
Tabla N° 6. Media, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación de los Datos Recolectados para Concentración de Soda Cáustica Luego de Realizar Modificaciones en el Sistema	67
Tabla N° 7. Media, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación de los Datos Recolectados para Concentración de Oxonia	69
Tabla N° 8. Media, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación de los Datos Recolectados para Concentración de Oxonia Luego de Realizar Modificaciones en el Sistema	72
Tabla N° 9. Media, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación de los Datos Recolectados para Temperatura de Circulación de Soda Cáustica	74
Tabla N° 10. Media, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación de los Datos Recolectados para Temperatura de Circulación de Oxonia	75
Tabla N° 11. Media, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación de los Datos Recolectados para la Velocidad de Operación	80
Tabla N° 12. Tiempos de Operación Medidos Para Cada Etapa del CIP	83
Tabla N° 13. Tiempos de Operación Recomendados Para Cada Etapa del CIP	89

Tabla N° 14. Longitud de la Tubería del Circuito en Función a los Diferentes Diámetros Presentes	102
Tabla N° 15. Descargas de la Llenadora de Botellas Durante los Enjuagues del CIP	103
Tabla N° 16. Volumen Total Requerido por la Llenadora de Botellas Durante los Enjuagues del CIP	104
Tabla N° 17. Descargas del Pasteurizador Flash Durante los Enjuagues del CIP ...	104
Tabla N° 18. Volumen Total Requerido Por el Pasteurizador Flash Durante los Enjuagues del CIP	104
Tabla N° 19. Cantidades de Agua Requerida por cada Enjuague del CIP.....	105
Tabla N° 20. Duración y Caudal de las Descargas del CIP	107
Tabla N° 21. Comparación entre el Consumo Actual de Agua en el CIP y el Consumo Óptimo	107
Tabla N° 22. Concentración de Soda Cáustica Antes y Después de Realizar el CIP	109
Tabla N° 23. Prueba Q de Dixon de la Data Recolectada para Concentración de Soda Cáustica.....	110
Tabla N° 24. Media de las Concentraciones de Soda Cáustica.....	111
Tabla N° 25. Concentración de Carbonato de Sodio Antes y Después de Realizar el CIP	112
Tabla N° 26. Contenido de Sólidos Suspendidos y Apariencia de la Solución Detergente	115
Tabla N° 27. Consumo de Soda Cáustica por cada CIP Antes y Después de Realizar Modificaciones del Sistema	119
Tabla N° 28. Consumo de Aditivo por cada CIP Antes y Después de Realizar Modificaciones del Sistema	119
Tabla N° 29. Comparación entre las Propiedades de Diferentes Detergentes Empleados en la Industria Cervecera.....	122
Tabla N° 30. Matriz de Selección del Detergente.....	123

Tabla N° 31. Condiciones para cada Etapa del CIP Según Procedimiento Advantis	128
Tabla N° 32. Consumo Óptimo por Enjuague del CIP y Tiempos Asociados	136
Tabla N° 33. Consumo Ideal de Agua en Cada Etapa del CIP y Ahorros Asociados	137
Tabla N° 34. Ahorro Total de Agua en el Sistema CIP	139
Tabla N° 35. Disminución de Costos en Base a las Propuestas Planteadas.....	140
Tabla N° 36. Tabla de Valores para Prueba Q	147
Tabla N° 37. Datos Curva Característica del Sistema.....	148
Tabla N° 38. Resultados Curva Característica del Sistema	148
Tabla N° 39. Flujos de Operación del CIP.....	149
Tabla N° 40. Temperaturas de Operación.....	150
Tabla N° 41. Concentración de Químicos de Limpieza.....	151

INTRODUCCIÓN

Cervecería Polar C.A. es una compañía de consumo masivo que se encarga de la fabricación de bebidas, ofreciendo los más altos estándares de calidad, lo que la hace líder en el mercado desde hace muchos años.

Para conseguir la calidad de sus productos, es imprescindible una buena limpieza y desinfección de los equipos empleados en el procesamiento de los mismos. El mantenimiento de unas condiciones adecuadas y seguras en la manipulación industrial de alimentos y bebidas exige, además de controles en puntos críticos del sistema de producción, la implementación de mecanismos que aseguren la higiene total de los equipos de trabajo. La razón de ello es que las impurezas y suciedades se fijan de una manera muy compleja a las superficies. En general, pueden estar encerradas mecánicamente en poros, hendiduras y otras irregularidades, por lo que eliminarlas de ahí resulta fundamental para prevenir la contaminación del producto.

Para eliminar los elementos contaminantes de superficies o instalaciones no basta con aplicar métodos de limpieza convencionales. Por el contrario, se necesita implementar algún sistema capaz de vencer las fuerzas de unión fisicoquímicas que se dan tanto entre las impurezas y las superficies impregnadas como entre las sustancias entre sí. La separación de estas impurezas se logra mediante el suministro de productos químicos en cantidades y formas adecuadas.

Por este motivo la aplicación de sistemas integrados de limpieza, que consiguen mezclar en proporciones adecuadas el agua y los productos químicos, a la temperatura ideal para el proceso, asegura una máxima eficiencia. Los sistemas que logran tal eficiencia son denominados Sistemas de Limpieza en Sitio o *Clean in Place* (CIP según sus siglas en inglés).

La efectividad de la limpieza CIP debe ser verificada a través de una serie de evaluaciones que permitan comprobar el cumplimiento de las variables que afectan a este proceso. Debido a esto, se concibió un estudio que tiene como finalidad optimizar el consumo de químicos empleados por el CIP, así como sus tiempos, manteniendo los estándares de calidad establecidos por la empresa.

Para ello se realizó un monitoreo continuo del proceso de limpieza, el cual comprendió la revisión de las especificaciones de las variables asociadas tanto al consumo de químicos, como a los tiempos de ejecución del proceso, el ajuste de la maquinaria empleada y el desempeño de las actividades humanas relacionadas con la eficiencia del proceso.

Una vez realizadas las evaluaciones al proceso en estudio, se plantearon distintas propuestas a la empresa que generaron un ahorro en cada una de las variables sometidas a estudio. La efectividad de estas propuestas fue evaluada minuciosamente, evitando discrepancias entre los cambios sugeridos y las recomendaciones establecidas por el Sistema de Gestión de Calidad de la empresa, así como por los manuales de Buenas Prácticas de Manufactura.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo se exponen las bases que fundamentan esta investigación y consta del planteamiento del problema, antecedentes y objetivos que se desean alcanzar con la realización del presente Trabajo Especial de Grado.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cervecería Polar C.A. es una empresa dedicada a la elaboración de bebidas desde 1941 y pertenece al grupo Empresas Polar. A finales del año 2008 se inició la producción de Maltín envasada en botellas de Polietileno Tereftalato (PET) en Planta Los Cortijos. Esta bebida es envasada mediante una serie de equipos que tienen contacto directo con el producto y por lo mismo, deben cumplir los requerimientos y estándares de higiene industrial establecidos en normas de calidad y planes de inspección internos, con la finalidad de garantizar la inocuidad del producto.

La presencia de microorganismos puede causar alteraciones al producto, ocasionando cambios en sus propiedades tales como: aroma, sabor, color y consistencia; además, la exposición de los consumidores a un producto contaminado originaría riesgos de salud. Debido a esto, es un requisito indispensable contar con un programa de limpieza y desinfección de las instalaciones, cuyo objetivo sea lograr que todos los equipos, superficies y piezas se encuentren inocuos. Además, se debe disponer de sistemas de medición confiables que garanticen una línea óptima para la operación.

El programa de limpieza empleado en Cervecería Polar se compone de un sistema automatizado de Limpieza en Sitio, denominado CIP por sus siglas en inglés (Clean In Place). El CIP realiza la limpieza interna de los equipos, tuberías, y demás áreas, que tienen o no contacto con el producto, empleando un detergente y un desinfectante que circulan en un circuito cerrado. El detergente y el desinfectante

utilizados en Cervecería Polar son la Soda Cáustica y Oxonia, respectivamente. La Soda Cáustica se puede reutilizar luego de realizar varios circuitos de CIP mediante un sistema de recuperación, siempre y cuando cumpla con ciertos requisitos de calidad para garantizar su efecto detergente. Los principales requisitos que debe cumplir este detergente son: ausencia de carbonatos y ausencia de sólidos en suspensión, para evitar la acumulación de estas sustancias en el sistema y la degradación química de las sustancias de limpieza. Si estas condiciones se cumplen se puede recuperar la Soda Cáustica luego de la realización de un CIP y podrá ser reutilizada para una próxima limpieza, ajustando su concentración de ser necesario. Por otra parte, la Oxonia empleada siempre es considerada a pérdida porque al culminar el CIP ésta pierde sus características de desinfección por la degradación química que sufre al reaccionar con microorganismos.

Desde el arranque de la línea PET a finales del año 2008, se han presentado altos índices de consumo de Soda Cáustica y Oxonia, así como también se ha incrementado el tiempo de duración del procedimiento de limpieza, en comparación a los tiempos teóricos establecidos. Evidentemente, esto se ha traducido en un aumento de costos, tiempos sin producción y horas/hombre adicionales.

Parte del incremento en los costos asociados al consumo de químicos se debe a que la Soda retornada luego de un CIP, llega al tanque de almacenamiento con notable contenido de sólidos en suspensión, haciéndola inutilizable para posteriores limpiezas, por lo que es enviada a la planta de tratamiento de aguas, y finalmente reemplazada por Soda nueva, incrementando el consumo semanal de este químico.

Este Trabajo Especial de Grado pretende proponer estrategias para optimizar el sistema CIP de la línea PET, enfocándose en disminuir los costos del consumo de químicos, aumentar la productividad mediante la disminución de los tiempos de limpieza, manteniendo los estándares de Calidad establecidos y garantizando las condiciones microbiológicas adecuadas durante este procedimiento. Para ello se requiere una evaluación minuciosa del sistema CIP que incluya la determinación del valor óptimo de las variables (concentración, temperatura, presión y flujo) que influyen en el sistema, la verificación del desempeño operacional de cada uno de los

equipos de la instalación y la realización de un análisis estadístico de los datos de operación, basándose en los principios de calidad de las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM).

Por otra parte, se realizará una búsqueda y evaluación de otros insumos químicos equivalentes a la Soda Cáustica existentes en el mercado, con el fin de identificar alternativas que cumplan igualmente los estándares de calidad establecidos, pero que generen una mejora en costos y/o tiempos de aplicación.

1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación se presentan los trabajos precedentes realizados en la empresa con respecto a los sistemas de Limpieza en Sitio (CIP). Estos trabajos pueden aportar una base de información en el desarrollo de ésta investigación. Cabe destacar que los sistemas de Limpieza en Sitio se comenzaron a implementar en la industria alimentaria recientemente, por lo que son pocos los estudios realizados con respecto a este tema.

López y Romero (2007) realizaron un análisis de la situación microbiológica de los procesos de elaboración y envasado de cerveza y malta en cuatro plantas cerveceras, con la finalidad de determinar las etapas del proceso que presentaran contaminación de origen microbiológico. El estudio arrojó como resultados que el área con mayor contaminación era elaboración, y la misma era originada debido al crecimiento microbiano dentro de las soluciones de limpieza implementadas en los sistemas de Limpieza en Sitio.

Por su parte, Expósito y Simons (2007) evaluaron los tiempos de operación de los sistemas de Limpieza en Sitio pertenecientes al área de elaboración de una planta cervecera, con respecto a los establecidos por la empresa. El estudio demostró una brecha considerable entre los tiempos de realización del CIP establecidos por la Gerencia y los resultados prácticos en la ejecución del mismo. Mediante el análisis se concluyó que la demora en los pasos que constituyen el proceso de Limpieza en Sitio

era motivada por una serie de causas entre las que destacan: fallas en los equipos, deficiencias en el control automatizado y falta de entrenamiento del personal.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Proponer estrategias para la reducción de costos y tiempos del sistema CIP correspondiente a la línea de envasado PET de Cervecería Polar C.A. Los Cortijos, a fin de incrementar su eficiencia, basados en el cumplimiento de parámetros de calidad.

1.3.2. Objetivos Específicos

- (1) Conocer en detalle el proceso de manufactura del producto Maltín Polar y de la operación del sistema CIP, con miras a definir un diagnóstico de la operación actual.
- (2) Analizar las condiciones de operación actuales del sistema CIP de la línea PET, con la finalidad de verificar el grado de cumplimiento de Normas de Calidad y Planes de Inspección establecidos, así como la aplicación de los principios de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM).
- (3) Determinar la cantidad óptima de agua de enjuague necesaria para eliminar los restos de detergente y desinfectante que se encuentren dentro del sistema de tuberías.
- (4) Determinar la vida útil del detergente empleado actualmente en el sistema CIP.
- (5) Identificar un nuevo químico detergente que disminuya los costos operativos y tiempos de limpieza, manteniendo los estándares microbiológicos de calidad y evaluar la factibilidad de empleo en el proceso.
- (6) Generar un plan estratégico de mejora operacional del sistema CIP, que sea factible de implementar y que permita la disminución de costos y tiempos de operación.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. MALTA

La malta es una bebida carbonatada no alcohólica de color ámbar oscuro, que se prepara a partir de cebada, lúpulo, azúcar y agua. Además de la cebada, se utilizan otras fuentes de carbohidratos llamados adjuntos, entre los cuales se encuentran: maíz, arroz y trigo (Kunze, 2004).

2.1.1. Componentes de la Malta (Hornsey, 1999)

Entre los componentes que se encuentran en la malta se tienen:

- (a) Carbohidratos: Son otorgados por los cereales que se emplean como materia prima. Todos estos cereales son fuentes de almidón, el cual se desdobra durante el proceso de elaboración para formar dextrina, glucosa, maltosa y maltotriosa, los cuales proporcionan el 70-80% de las calorías presentes en la malta. Por otra parte, la malta contiene una proporción de 4 a 5% en peso de sacarosa, proveniente de la azúcar empleada para la realización del caramelo.
- (b) Proteínas: Los cereales contienen pequeñas cantidades de proteínas. Entre las más comunes se encuentra el gluten, el cual es un complejo proteico que está formado por dos proteínas: gliadina y gluteína. Las proteínas de los cereales son desdobladas durante el proceso de elaboración de la malta, convirtiéndose su mayoría en aminoácidos.
- (c) Fibra: La malta suele tener un contenido muy bajo en fibras, procedente de los residuos del salvado (tejido externo de los cereales). Además, la fibra puede aportar pequeñas cantidades de celulosa y sustancias minerales.

2.1.2. Proceso de Elaboración de Malta

El proceso de elaboración de malta consta principalmente de 3 etapas: Cocimiento, Maduración y Clarificación. La Figura N° 1 muestra el diagrama del proceso de producción de malta, con el fin de orientar la descripción de cada una de las etapas que lo conforman.

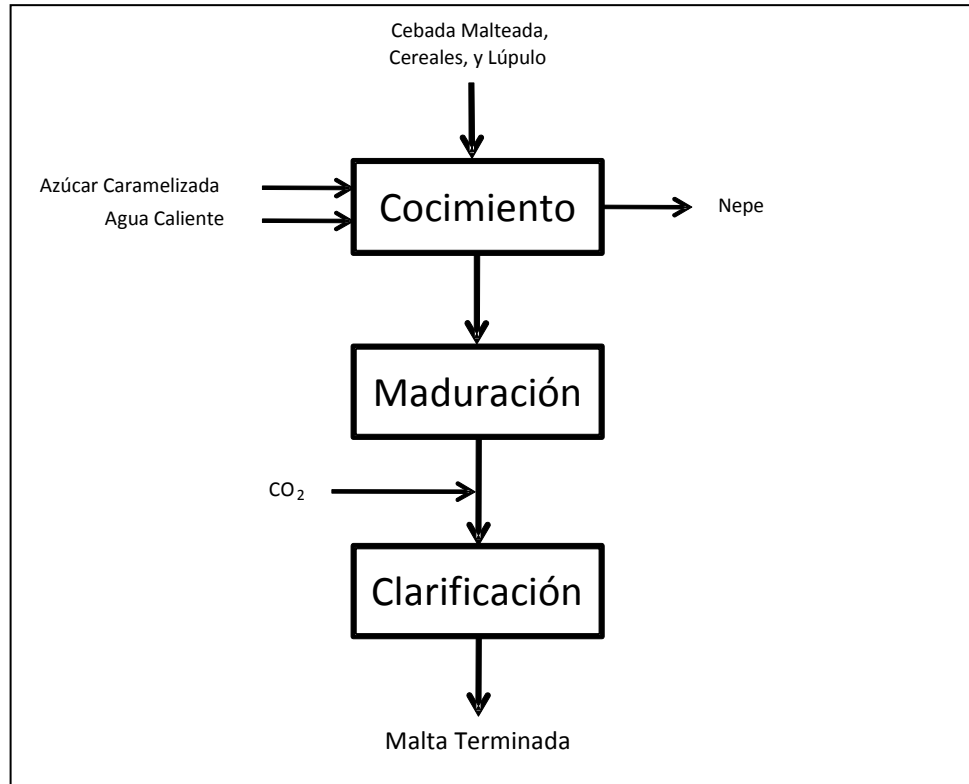


Figura N° 1. Proceso de Producción de Malta (Elaboración propia)

2.1.2.1. Cocimiento (Hornsey, 1999)

La etapa de cocimiento comienza con la recepción de la materia prima, la cual pasa posteriormente a la operación mecánica de molienda, que tiene por objeto rasgar la cáscara de la cebada malteada para dejar expuesta la porción interior del grano y seguidamente pasar a la trituración, tratando de mantener los elementos finos (harina) a un tamaño mínimo.

Consecutivamente se lleva a cabo la operación de maceración, que consiste en mezclar las proporciones apropiadas de cebada y adjuntos en agua caliente, y a continuación la mezcla se somete a una serie de ciclos de calentamiento y reposo. El conjunto de sustancias que se solubilizan en el agua se denominan extracto. La solución de extracto en agua se denomina mosto o, en esta etapa de procesamiento, mosto dulce.

Además de compuestos solubles, la mezcla también contiene compuestos insolubles (nepe). A través de la operación de filtración del mosto dulce, éste se separa del bagazo, el cual se descarga en su silo correspondiente. El proceso de filtración se realiza mediante un filtro de prensa de placas. Después de retirar el bagazo, se procede a la operación de cocción del mosto, que se lleva a cabo en una paila de cocción, donde se calienta el mosto hasta la ebullición y se añade el lúpulo.

El mosto es sometido al proceso de clarificación, que consiste en separar el líquido de los sedimentos y partículas insolubles mediante la aplicación de fuerza centrífuga. Estos sólidos generalmente se componen de residuos de lúpulo y complejos proteínicos, los cuales no son deseados en el producto terminado. El equipo donde se realiza ésta operación es denominado Rotapool.

Los sedimentos provenientes del Rotapool son clarificados nuevamente por medio de un Decantador, con el fin de recuperar el mosto que queda todavía mezclado. Luego del proceso de clarificación, al mosto se le añade el azúcar diluida (caramelo) que otorga el sabor y color característico de la malta.

Posteriormente, el mosto es llevado a la etapa de enfriamiento en donde se emplea agua glicolada como refrigerante hasta que el mosto alcance una temperatura entre 6°C y 12°C.

El diagrama de la etapa de cocimiento se muestra en la Figura N° 2.

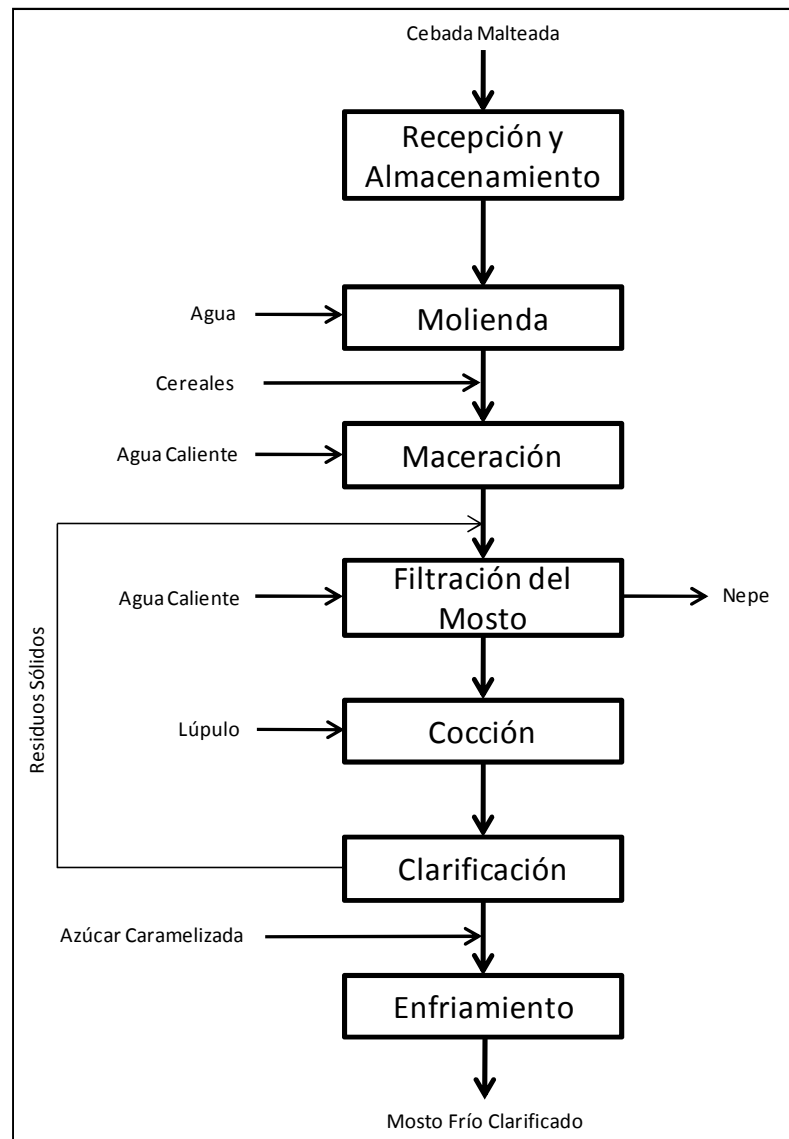


Figura N° 2. Etapa de Cocimiento (Elaboración propia)

2.1.2.2. Maduración

Una vez que el mosto se mezcla con el caramelo, el mismo es almacenado a bajas temperaturas durante un período corto, para que éste adquiera su sabor característico, además de favorecer la precipitación de sólidos. Este proceso es conocido como maduración de la malta y tiene por objeto la remoción bioquímica de aquellos compuestos químicos que le dan a la malta “verde” un sabor y aroma indeseados, convirtiéndola en malta madurada (Hornsey, 1999).

2.1.2.3. Clarificación de la Malta

La clarificación es un proceso de separación donde los compuestos que causan turbidez a la malta, son removidos. Este proceso tiene lugar normalmente en filtros de tierra de diatomeas, utilizando para ello filtros de marcos y placas, de platos o de bujías (Lewis y Young, 2002).

Previo al proceso de clarificación, la malta madurada es carbonatada con el objetivo de conseguir los niveles de CO₂ requeridos del producto final.

Finalmente, la malta es enviada a los tanques de Gobierno, donde se dispone a iniciar su proceso de envasado.

La Figura N° 3 muestra el diagrama de la etapa de clarificación de la malta.

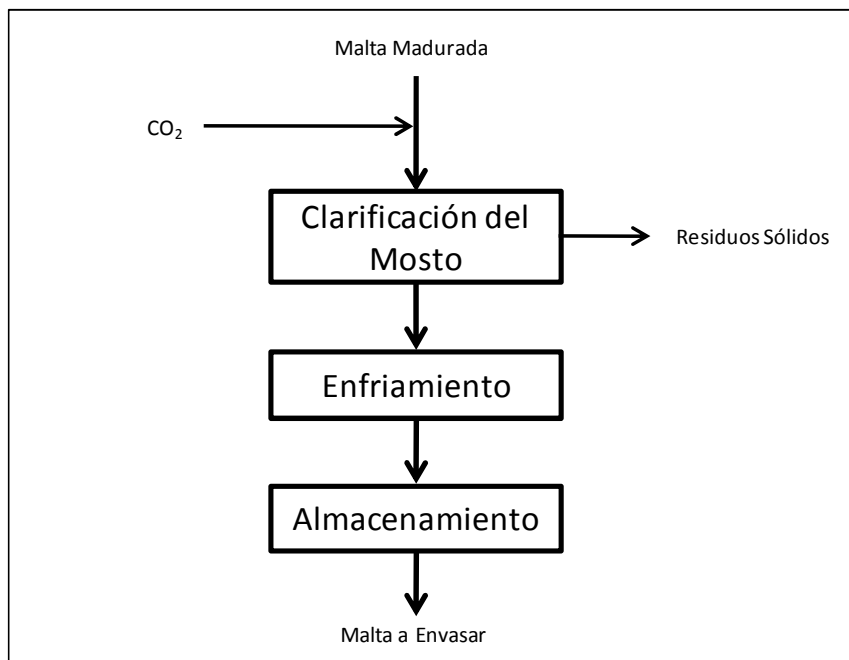


Figura N° 3. Clarificación de la Malta (Elaboración propia)

2.1.3. Proceso de Envasado de Malta en Botellas PET

El envasado del producto es un proceso sumamente tecnificado y requiere de personal altamente calificado para garantizar la óptima operación de la maquinaria empleada.

La malta puede ser envasada en diferentes presentaciones entre las cuales se encuentran las botellas de vidrio (retornables y no retornables), latas de aluminio y botellas plásticas PET (Polietilen Tereftalato). Estas últimas son las botellas empleadas en la línea sometida a estudio durante ésta investigación.

El proceso de envasado de malta en botellas PET se divide en las siguientes etapas: Enjuagado de Envases, Pasteurización Flash, Llenado de Botellas, Pasteurización, Etiquetado y Codificado, Empacado, Paletizado y Envoltura.

2.1.3.1. Enjuague de Envases (Cervecería Polar, 2008)

Las botellas PET se reciben en condiciones estériles por parte del proveedor, sin embargo, para asegurar la inocuidad, éstas se introducen en un sistema de enjuague el cual realiza el siguiente ciclo de limpieza:

- (a) Desinfección: Se realiza un enjuague inicial con agua y desinfectante para matar cualquier microorganismo presente.
- (b) Enjuague con agua: Se lleva a cabo un enjuague con agua con el fin de eliminar los residuos de desinfectante presentes.

2.1.3.2. Pasteurización Flash (Kunze, 2004)

A diferencia de las líneas de producción de malta en otro tipo de envases, la línea PET realiza una pasteurización preliminar al llenado. La adición de ésta etapa se debe al material plástico del envase PET. Este material no resiste las altas temperaturas a las que son sometidos los envases de vidrio o aluminio, por lo que es necesario realizar una pasteurización previa al envasado del producto, en donde las temperaturas no son tan altas como en la pasteurización comúnmente utilizada. La pasteurización flash garantiza que el producto se encuentre completamente inocuo antes de llevar a cabo el envasado, aún así, posteriormente es necesario efectuar una segunda pasteurización, para garantizar que el producto no se haya contaminado durante el proceso de envasado.

La pasteurización flash es efectuada mediante un pasteurizador de placas, el cual está compuesto por tres secciones:

- (a) Primera Sección: Es la llamada regenerativa o de ahorro energético, donde la malta entrante se encuentra en contracorriente con la ya pasteurizada, cediendo calor a la primera.
- (b) Segunda Sección: La malta se calienta hasta unos 72 °C con agua caliente o vapor y se mantiene a esta temperatura durante algunos segundos.
- (c) Tercera Sección: Es la de enfriamiento, donde la malta se enfría a 0 °C. El enfriamiento se realiza en dos fases: la primera en contracorriente con la malta que entra a través de la primera sección, y en la segunda, se puede enfriar hasta 0 °C con agua glicolada.

Una vez que termina la pasteurización flash, el producto es enviado al tanque buffer, como se explicó anteriormente.

2.1.3.3. Llenado (Cervecería Polar, 2008)

Los envases entran a la llenadora, máquina giratoria que envasa la malta. La malta que se utiliza para el llenado proviene del tanque buffer donde se mantiene almacenada hasta que la llenadora alcance las condiciones óptimas de operación. Una vez ocurrido esto, el producto es enviado al compartimiento de la llenadora y seguidamente se realiza el barrido de oxígeno contenido en los envases. Posteriormente, se llenan las botellas bajo contrapresión de gas carbónico, altamente compatible con la malta.

De inmediato, los envases pasan a la tapadora, donde son cerrados herméticamente.

2.1.3.4. Pasteurización (Cervecería Polar, 2008)

El producto envasado pasa a la etapa de pasteurización, la cual se realiza en un pasteurizador estilo túnel, en donde los envases avanzan a medida que reciben un tratamiento de duchas con agua caliente, durante un período de 10 minutos.

La malta entra al proceso de pasteurización aproximadamente a 5 °C, y se va calentando de forma paulatina hasta alcanzar los 60 °C; posteriormente es enfriada lentamente para evitar choques térmicos que pueden ocasionar rotura en las botellas.

2.1.3.5. Embalaje (Cervecería Polar, 2008)

La última etapa del proceso de envasado es el embalaje, el cual se realiza mediante maquinaria automatizada que etiquetan y codifican los envases, para posteriormente colocarlos en paletas, que luego son envueltas en papel plástico. En este punto, el producto está listo para ser distribuido hasta los puntos de venta y almacenes respectivos.

En la Figura N° 4 se puede apreciar el diagrama del proceso de envasado de malta en botellas PET, para orientar la descripción de cada una de las etapas que lo conforman.

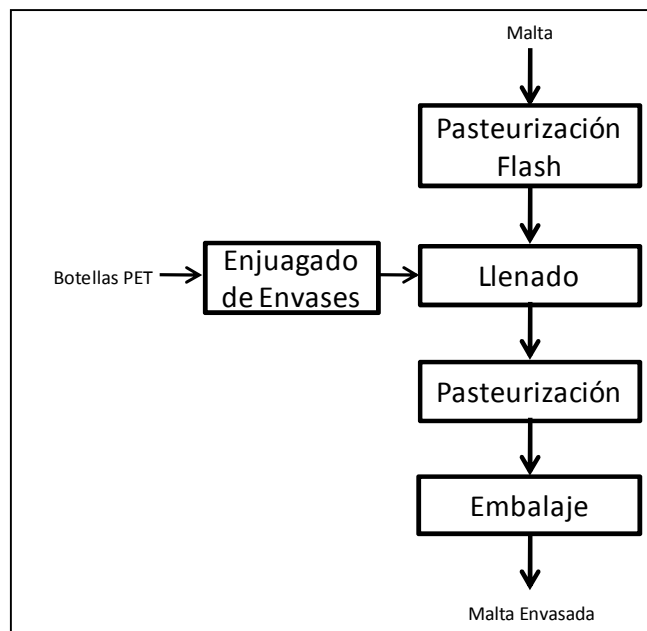


Figura N° 4. Proceso de Envasado de Malta en Botellas PET (Elaboración propia)

Terminado el proceso de envasado, es indispensable realizar la limpieza y desinfección de los equipos y tuberías que tienen o no contacto directo con el

producto, a fin de garantizar la inocuidad cuando vaya a llevarse a cabo la siguiente producción.

2.2. LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN

La industria alimentaria tiene como deber sacar al mercado alimentos de alta calidad que se encuentren exentos de patógenos y toxinas, y que respondan con la capacidad de conservación específica del artículo. Por ende, es necesaria la implementación de medidas sanitarias que involucren una combinación de métodos para conservar el producto libre de cualquier contaminación. En tal sentido, el papel que juegan la limpieza y desinfección en la industria alimentaria es fundamental para obtener un producto competitivo.

La limpieza y desinfección son operaciones independientes y complementarias, dirigidas a combatir la proliferación y actividad de los microorganismos que pueden contaminar los alimentos y ser causa de su deterioro o de toxi-infecciones alimentarias. De tal forma, ambos términos se pueden definir de la siguiente forma:

2.2.1. Limpieza

La limpieza, es la separación más completa posible de al menos una sustancia de una superficie, las cuales se encuentran unidas entre sí físicamente en forma débil. Esta separación debe ser permanente. Tras separar la sustancia, se puede decir que la superficie queda “limpia”. La sustancia (suciedad) es eliminada mediante una serie de reacciones físico-químicas y de acción mecánica (Wildbrett, 2000).

2.2.2. Desinfección

Desinfección es la destrucción de los microorganismos que pueden quedar después de la limpieza, disminuyendo su número hasta niveles aceptables, de manera que no resulten nocivos para la salud, ni perjudiquen la calidad de los alimentos perecederos (Wildbrett, 2000).

En ese sentido, los objetivos de la limpieza y desinfección pueden resumirse de la siguiente forma (Campbell y Priest, 2003):

Limpieza:

- (a) Cumplir con las exigencias estéticas.
- (b) Restablecer el funcionamiento normal de los equipos tras su actividad.
- (c) Prolongar la vida útil de los equipos.
- (d) Asegurar la calidad óptima de los alimentos frente a influencias químicas.

Desinfección:

- (a) Proteger la salud del consumidor.
- (b) Asegurar la calidad óptima de los alimentos frente a influencias microbianas.

La limpieza y desinfección deben llevarse a cabo, si no continuamente, al menos en intervalos regulares y frecuentes, de forma que se mantenga constantemente la buena calidad del producto. Para ello, es necesario implementar un programa que garantice la inocuidad del producto mediante la implementación de mecanismos que aseguren la higiene total de superficies y equipos de trabajo. La razón de ello se debe a que las impurezas y suciedades se fijan de una manera muy compleja a las superficies de los equipos, y pueden estar encerradas mecánicamente en poros, hendiduras y otras irregularidades. Eliminar estas impurezas resulta fundamental para prevenir contaminaciones y, por tanto, el riesgo de contaminación de los productos (Forsythe y Hayes, 1999).

2.2.3. Suciedad

Los residuos que persisten en la maquinaria, utensilios y depósitos en la preparación y envasado de alimentos, reciben el nombre de suciedad. Se trata en su mayoría de restos de alimentos o de sus componentes (Marriot, 2006).

2.2.3.1. Composición de la Suciedad

La composición de la suciedad varía mucho de acuerdo con el alimento en preparación. En el caso particular de la malta, predominan residuos conformados por carbohidratos y proteínas, que son los principales componentes del producto.

Además de las impurezas específicas de los alimentos, en el transcurso de la limpieza deben eliminarse también suciedades ajenas a éstos, de orígenes muy diversos. En la Tabla N° 1 se citan los componentes de la suciedad presentes en la industria de cerveza y malta, clasificados según su solubilidad en agua, capacidad de eliminación y los cambios inducidos por el aumento de la temperatura.

Tabla N°1. Características de solubilidad de las suciedades en la industria de malta (Campbell y Priest, 2003).

Tipo de Suciedad	Característica de Solubilidad	Capacidad de Eliminación	Cambios Inducidos por el Calentamiento de la Superficie
Carbohidratos	Soluble en agua	Fácil	Desnaturalización y dificultad de eliminación
Azúcar	Soluble en agua	Fácil	Caramelización y dificultad de eliminación
Proteína	Insoluble en agua Soluble en álcali Ligeramente soluble en ácido	Muy difícil	Desnaturalización y dificultad extrema de eliminación
Sales Minerales	Soluble en agua y en ácido	Fácil a difícil	Interacción con otros componentes difíciles de eliminar

2.2.3.2. Tipos de Suciedad (Marriot, 2006)

Las suciedades pueden clasificarse de acuerdo a su grupo químico. Según esto, se tienen:

- (a) Suciedad Orgánica: la cual incluye materiales tales como proteínas, carbohidratos, grasa, aceites, etc. En este caso se recomienda el uso de limpiadores alcalinos o neutros.
- (b) Suciedad Inorgánica: incluye materiales tales como incrustaciones de agua dura, productos de corrosión, sales, etc. El agente de limpieza recomendado está conformado por limpiadores ácidos.

Los depósitos de suciedad con frecuencia se complican y se adhieren con mayor fuerza a la superficie debido a las propiedades químicas de la suciedad, como tensión superficial, capacidad humectante y capacidad de reacción química con la superficie de contacto, y por las propiedades físicas, como tamaño, forma y densidad de las partículas. Algunas suciedades se mantienen fijas a la superficie por fuerzas adhesivas o fuerzas de dispersión, por lo que éstas fuerzas deben ser neutralizadas por un surfactante que reduzca la energía superficial de la suciedad y, consecuentemente, debilite la unión entre la suciedad y la superficie de adhesión.

Las fuerzas de adhesión dependen asimismo de la forma geométrica, tamaño de las partículas, irregularidades de la superficie y propiedades plásticas. La inclusión mecánica en superficies irregulares y grietas contribuye a la acumulación de suciedades sobre el equipo y otras superficies.

Por consiguiente, es importante identificar correctamente el tipo de suciedad y utilizar el compuesto limpiador más eficaz para eliminar efectivamente los depósitos de suciedad.

2.2.4. Selección del Producto de Limpieza Adecuado

La forma en la cual debe realizarse la limpieza y la selección de las propiedades del detergente y desinfectante, depende principalmente de: la naturaleza de la suciedad, la superficie a limpiar, el método de aplicación, las propiedades del agua a emplear y las regulaciones ambientales. Éstas características se describen a continuación:

2.2.4.1. La naturaleza de la suciedad

El tipo de suciedad determinará qué clase de limpiador deba emplearse para obtener mayor eficacia. Por lo común, la suciedad orgánica se elimina mejor con compuestos alcalinos. Los depósitos minerales y otras suciedades que no puedan eliminarse con éxito por los limpiadores alcalinos requieren compuestos limpiadores ácidos.

2.2.4.2. La naturaleza de la superficie a limpiar

El diseño de los equipos y los materiales de construcción utilizados influyen sobre el depósito de suciedad y las exigencias de limpieza. La facilidad con que se elimina la suciedad de una superficie depende de las características de ésta, como uniformidad, dureza, porosidad y capacidad humectante (Bouix y Leveau, 2002).

El producto de limpieza empleado puede originar efectos indeseables sobre los equipos, como por ejemplo corrosión. Por ende, es preferible el uso de materiales y equipos de acero inoxidable, para prevenir cualquier riesgo de corrosión; sin embargo, es necesario destacar que el acero inoxidable posee diferentes variedades que, dependiendo del químico empleado, pueden llegar a corroerse (Wildbrett, 2000).

Se puede decir entonces que los materiales empleados en la industria alimentaria deben ser escogidos en función a su rugosidad y al potencial de corrosión.

2.2.4.3. Método de aplicación

En este caso, el método de aplicación es el sistema de Limpieza en Sitio (CIP), por lo tanto, los productos de limpieza a emplear deben adecuarse a este sistema y deben cumplir una serie de requisitos que permitan un buen desempeño de la limpieza, evitando la exposición de los operadores, el contacto con la piel y la contaminación del aire.

2.2.4.4. Propiedades del agua

El agua es el medio de limpieza utilizado con mayor frecuencia en la eliminación de la suciedad. Las principales funciones del agua como agente de limpieza son (Marriot, 2006):

- (a) Enjuagado previo para eliminar las partículas grandes de suciedad.
- (b) Humedecer (o reblandecer) la suciedad depositada.
- (c) Transporte del compuesto limpiador a la zona que deba limpiarse.
- (d) Suspensión y transporte de la suciedad a eliminar.
- (e) Enjuagado del compuesto limpiador desde la zona limpiada.
- (f) Transporte de un desinfectante a la zona limpiada.

Para complementar los compuestos limpiadores hace falta agua en buenas condiciones, es decir, libre de microorganismos, transparente, incolora, no corrosiva y exenta de sales minerales en exceso (agua blanda). El agua dura, que contiene cantidad excesiva de sales minerales puede obstaculizar la acción de algunos compuestos limpiadores, reduciendo su eficacia de acción y contribuyendo a la formación de precipitados que originan la acumulación de residuos orgánicos y microorganismos (Marriot, 2006).

Por otra parte, debe tenerse presente la influencia del pH del agua en la limpieza; un pH bajo es enemigo del hierro y otras superficies, mientras que el pH elevado favorece la precipitación del calcio (Dumont, 2007). En la Tabla N°2 se muestran las condiciones adecuadas del agua a emplear en operaciones de limpieza y desinfección.

Tabla N °2. Condiciones del agua sugeridas para aplicaciones de limpieza y sanitación (Dumont, 2007).

Factor	Especificación (mg/L)
Turbidez	1 - 10
Color	5 - 10
Gusto/Olor	Bajo
Sólidos Totales Disueltos	500
Dureza como CaCO ₃	250
Alcalinidad como CaCO ₃	250
pH	6 - 8
Hierro	0,3
Manganeso	0,1
Cobre	2
Cloruros	200
Sulfatos	200
Sílice	15
Microorganismos	Libre de Patógenos
Coliformes	Menos de 1 ufc/100 ml
Psicotrópicos	Menos de 20 ufc/ml

2.2.4.5. Cuidado del medio ambiente (Dumont, 2007)

Las aguas residuales procedentes de la industria alimentaria se componen preferentemente de sustancias orgánicas y de los productos químicos empleados en las medidas higiénicas. La carga de suciedad orgánica se mide en los valores de demanda bioquímica de oxígeno (BOD), la cual expresa el consumo de oxígeno por desdoblamiento de la sustancia orgánica durante cinco días. En general, las industrias deben emplear, dentro de lo posible, productos químicos que no excedan los valores de BOD permitidos; además es necesario el tratado de los efluentes y el control del pH de los mismos.

2.2.5. Detergentes

Los detergentes son productos que añadidos al agua aumentan su poder limpiador, al facilitar la eliminación de los restos de materia orgánica de las superficies (Cervecería Polar, 2009). Estos han de poder eliminar muchos tipos de

suciedad bajo circunstancias distintas, por lo tanto, la relación de propiedades exigidas a un buen detergente es numerosa. El detergente ideal debería:

- (a) Ser soluble en agua a la temperatura requerida
- (b) No ser corrosivo para las superficies del equipo
- (c) Carecer de acción irritante sobre la piel y los ojos
- (d) No ser tóxico
- (e) Biodegradable
- (f) Económico
- (g) Fácilmente arrastrable con agua
- (h) Estable en períodos de almacenamiento largos
- (i) Limpiadores efectivos de todo tipo de suciedad
- (j) Evitar la formación de espuma

Debido al gran espectro de sustancias que deben eliminarse con los detergentes, éstos tienen que poseer una serie de propiedades que pueden ser otorgadas por aditivos que se adicionen a la solución principal o simplemente ser propiedades básicas del compuesto. Para entender mejor las propiedades de los compuestos limpiadores, son importantes los siguientes términos (Lelieveld, 2003):

- Poder secuestrante: capacidad de los compuestos limpiadores que evita el endurecimiento de los sólidos depositados en la superficie de los equipos.
- Emulsificación: acción que reduce la tensión superficial del agua para permitir un contacto más íntimo entre el depósito de suciedad y el compuesto limpiador. Básicamente, consiste en la fractura de grasas y aceites en partículas más pequeñas que se dispersan por el medio. La suciedad sigue presente, pero reducida de tamaño físico.
- Peptización: proceso que, por la acción de productos alcalinos actuando sobre suciedades proteicas, supone la formación de una solución coloidal a partir de un material parcialmente soluble.

- Buena capacidad de enjuague: propiedad de un compuesto limpiador que permite su fácil eliminación de una superficie sin dejar residuos.
- Saponificación: acción de un agente alcalino sobre suciedad insoluble para producir un jabón crudo soluble.
- Surfactante: molécula compleja que cuando se mezcla con un compuesto limpiador, reduce la tensión superficial del agua para permitir un contacto más íntimo entre el depósito de suciedad y el compuesto limpiador.
- Suspensión: proceso en virtud del cual un compuesto limpiador desliga, levanta y mantiene en solución partículas de suciedad.

Por los momentos, no se conoce ningún producto químico que posea todas las propiedades citadas, deben mezclarse varios para obtener formulaciones equilibradas de detergentes, aptas para cada necesidad de limpieza específica.

2.2.5.1. Clasificación de los Detergentes (Wildbrett, 2000)

Los detergentes pueden clasificarse como sigue:

- (a) Álcalis inorgánicos, cáusticos y no cáusticos: Se caracterizan por tener una fuerte capacidad disolvente y ser corrosivos. El hidróxido de sodio (soda cáustica) es el más fuerte de los álcalis y es además económico, sus propiedades disolventes son excelentes y es bactericida. Sin embargo, es muy corrosivo para los metales y debe ser manipulado con cuidado ya que puede producir graves quemaduras en la piel.

Los detergentes alcalinos precipitan las sales cálcicas y magnésicas insolubles del agua dura, por lo que en cualquier formulación de estos detergentes deben añadirse secuestrantes.

- (b) Ácidos inorgánicos y orgánicos: Son altamente corrosivos y carecen de versatilidad como agente de limpieza; además muchos son peligrosos y pueden causar quemaduras graves. Dentro de los inorgánicos antiguamente se utilizaban el ácido clorhídrico, sulfúrico y nítrico para eliminar los precipitados del agua dura, pero debido a su naturaleza corrosiva han sido

sustituidos por ácidos más débiles. Entre ellos, se encuentran el fosfórico y sulfámico que pueden acoplarse con un inhibidor de corrosión.

Entre los ácidos orgánicos que se incorporan a las fórmulas de los detergentes se encuentran los siguientes: glucónico, hidroxiacético, cítrico y tartárico.

- (c) Agentes de superficie activa (Surfactantes): Se emplean para disminuir la tensión superficial del agua y así facilitar el mojado. Los surfactantes tienen una estructura molecular formada por una porción hidrofílica y otra hidrofóbica, por lo tanto, un extremo de la molécula es atraída por el agua y el otro repelido pero atraído por las grasas y aceites, generando un puente entre el aceite y el agua. Estos compuestos son excelentes emulsionantes, tienen buenas propiedades humectantes y poder de penetración, no son corrosivos, ni irritantes y son arrastrados fácilmente por el agua.
- (d) Agentes secuestrantes: El agua blanda posee propiedades limpiadoras que van disminuyendo progresivamente a medida que se disuelven en ellas más sales de calcio y magnesio, las cuales tienden a precipitar y formar calcificaciones en las superficies. Los agentes secuestrantes se adicionan a los detergentes para evitar la precipitación de sales y éstos también proporcionan a los detergentes otras propiedades convenientes; muchos son buenos emulgentes, disolventes, dispersantes y generalmente facilitan el enjuagado.

2.2.6. Desinfectantes

Los desinfectantes son sustancias químicas que se encargan de destruir una gran variedad de microorganismos, pero no necesariamente las esporas bacterianas (Forsythe y Hayes, 1999). Básicamente, los desinfectantes reducen los organismos nocivos a un nivel que no afectan la salud ni la calidad de los alimentos.

En lo referente a su utilización en la producción de alimentos, un desinfectante debe cumplir una extensa serie de requisitos (Giese, 1991):

- (a) Rápida destrucción microbiana a bajas concentraciones y temperaturas, con una actividad de amplio espectro contra bacterias vegetativas, levaduras y mohos
- (b) Buena capacidad de transporte y estabilidad en el almacenado
- (c) Buena solubilidad, miscibilidad y dosificación en la preparación de las diluciones habituales
- (d) Resistencia al medio ambiente (efectivo en presencia de materia orgánica, residuos de detergente, dureza del agua y oscilaciones del pH)
- (e) No ser corrosivo, ni dar color a las superficies de los equipos
- (f) Inodoro
- (g) Propiedades no tóxicas y no irritantes
- (h) Biodegradable
- (i) Control sencillo de la concentración y si es posible automatizado
- (j) Prolongada acción protectora sobre las superficies tratadas
- (k) Buena capacidad de enjuagado de las superficies de contacto con los alimentos
- (l) Económico

Existe una gran variedad de productos bactericidas, sin embargo, muy pocos cumplen con todos los requisitos mencionados. Es importante conocer las características que ofrecen los desinfectantes empleados en la industria alimentaria según su clasificación.

2.2.6.1. Clasificación de los Desinfectantes (Wildbrett, 2000)

Los grupos desinfectantes más utilizados en la industria alimentaria son los siguientes:

- (a) Compuestos de halógenos: Son fuertes agentes oxidantes para atacar y destruir las sustancias orgánicas. En forma elemental sólo tienen importancia práctica el cloro y el yodo. Los compuestos liberadores de cloro activo también poseen acción oxidante.

Generalmente, los compuestos liberadores de cloro se caracterizan por contener ácido hipocloroso o iones del mismo como principio activo en solución acuosa, los cuales se difunden a través de las paredes celulares de las bacterias, con lo que destruyen sus componentes vitales.

En general, todos los halógenos pueden ser empleados como desinfectantes, pero no todos son apropiados para la industria alimentaria, ya que algunos poseen olores fuertes y pueden ser tóxicos.

- (b) Agentes oxidantes productores de oxígeno: La acción química oxidante de estos compuestos es equivalente a la de los halógenos. Los compuestos empleados comúnmente en la industria alimentaria son el peróxido de hidrógeno, los perácidos orgánicos y los percompuestos inorgánicos.
- (c) Aldehídos: Son ampliamente utilizados para la desinfección de alimentos debido a su gran eficacia, incluso en presencia de considerables residuos de suciedad. El desinfectante más común de este grupo es el formaldehído, el cual puede ser empleado en forma de gas y tiene buena solubilidad en agua.
- (d) Productos superficieactivos: Son compuestos que reducen la tensión superficial de una solución acuosa frente a otras fases, con lo que desarrollan un efecto humectante y emulsionante. Esto tiene lugar por su acumulación en la superficie de separación y como consecuencia de su estructura molecular con una parte hidrófila y otra hidrófoba. Los compuestos de amonio cuaternario se encuentran dentro de este grupo.
- (e) Guanidinas: Algunos derivados de la guanidina desarrollan buenas propiedades antimicrobianas. Su espectro de acción se asemeja a la de los productos superficieactivos, sin embargo, no ejercen una buena acción contra mohos.
- (f) Ácidos orgánicos halogenados: Poseen propiedades antimicrobianas que se deben a la halogenización. En particular el ácido monocloraacético, el ácido monobromoacético y el ácido monoyodacético están indicados para desinfectar zonas de pH entre 1 y 3.

- (g) Compuestos de metales pesados: Los metales pesados y muchos de sus compuestos exhiben buena acción antimicrobiana. Su utilización como desinfectantes ha disminuido mucho desde que se comprobó que sus efectos son en buena medida reversibles y tóxicos.
- (h) Álcalis y ácidos: Los valores extremos de pH alteran y matan los gérmenes con gran fuerza. La acción marcadamente germicida se inicia por encima de pH 10 y por debajo de pH 4, registrándose notables diferencias según la especie bacteriana en lo referente a la sensibilidad ante los álcalis y los ácidos.

Para lograr una limpieza eficiente no basta con emplear sustancias químicas, también es necesaria la aplicación de fuerzas mecánicas que ayuden a remover la suciedad, además se requiere la implementación de un sistema que ayude a controlar las variables asociadas. Este sistema es mejor conocido como el Sistema de Limpieza en Sitio.

2.2.7. Sistema de Limpieza en Sitio (CIP)

Los sistemas de Limpieza en Sitio, más comúnmente denominados CIP por sus siglas en inglés (*Cleaning In Place*), son estaciones centralizadas que se emplean para el lavado interno de circuitos cerrados, tales como redes de tuberías, tanques de almacenamiento y equipos empleados en la fabricación de alimentos o bebidas. No requieren modificar y/o desarmar los equipos para su ejecución y usualmente son parcial o totalmente automatizados (Hyde, 1997).

En general, las plantas modernas se conforman por equipos de gran escala y difícil acceso que impiden la aplicación de un programa de limpieza manual. Debido a esto, los sistemas CIP han sustituido en gran parte a la limpieza manual de equipos empleados en el procesamiento de alimentos.

El principio en que se basa la limpieza de los sistemas CIP implica la circulación secuencial de agua, detergentes y desinfectantes a través del interior de los equipos que se requieran limpiar. Este proceso es regulado con un elevado grado de

automatización. Comúnmente, la secuencia de operaciones de un CIP es (Romney, 1990):

- (1) Un barrido con aire para eliminar los residuos de dióxido de carbono (sólo aplica en procesos de limpieza de industrias con bebidas carbonatadas)
- (2) Un pre-enjuague con agua para eliminar la suciedad gruesa
- (3) Circulación con un detergente para la eliminación de la suciedad residual mediante interacciones químicas entre la solución y la suciedad
- (4) Un lavado intermedio con agua para arrastrar el detergente
- (5) Circulación de un desinfectante para la destrucción de los microorganismos
- (6) Un lavado final con agua (no siempre aplica) para arrastrar el desinfectante

Para garantizar que el sistema CIP funcione, se debe asegurar un alto grado de turbulencia de los fluidos de limpieza en todas las superficies. Para controlar las condiciones de operación se deben instalar instrumentos adecuados y puntos de muestreo en las zonas críticas de control del circuito de limpieza (Tamime, 2008).

Asimismo, se debe asegurar una operación sin fallas del ciclo de limpieza, sin posibilidades de contaminación cruzada entre los productos químicos y los productos alimenticios (Hurtado, 2004).

La efectividad del CIP debe ser verificada a través de un programa de pruebas químicas, físicas, microbiológicas y visuales. Además, es de suma importancia la aplicación de un manual de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y de un sistema de Evaluación de Puntos Críticos de Control (HACCP), para prevenir que los posibles puntos críticos del proceso infieran negativamente en el proceso, trayendo como consecuencia contaminaciones microbiológicas (Hurtado, 2004).

2.2.7.1. Componentes de una Estación CIP (Hyde, 1997)

En general, las estaciones CIP constan de los siguientes elementos:

- (a) Tanques Principales: contienen las soluciones detergentes, desinfectantes y agua

- (b) Bombas de Suministro y Retorno: generan la circulación de las sustancias a través del sistema que se requiere limpiar y regulan los caudales
- (c) Bombas Dosificadoras: se emplean para dosificar sustancias químicas
- (d) Tuberías: transportan las soluciones químicas a los equipos a ser lavados
- (e) Filtros: retienen los sólidos o residuos que puedan afectar el proceso
- (f) Intercambiadores: calientan las soluciones de limpieza y desinfección
- (g) Rociadores: esparcen las soluciones de limpieza dentro de los tanques
- (h) Equipos de Instrumentación y Control: permiten controlar flujos, temperaturas, presiones y concentraciones

En la Figura N° 5 se muestra la configuración básica de una estación CIP.

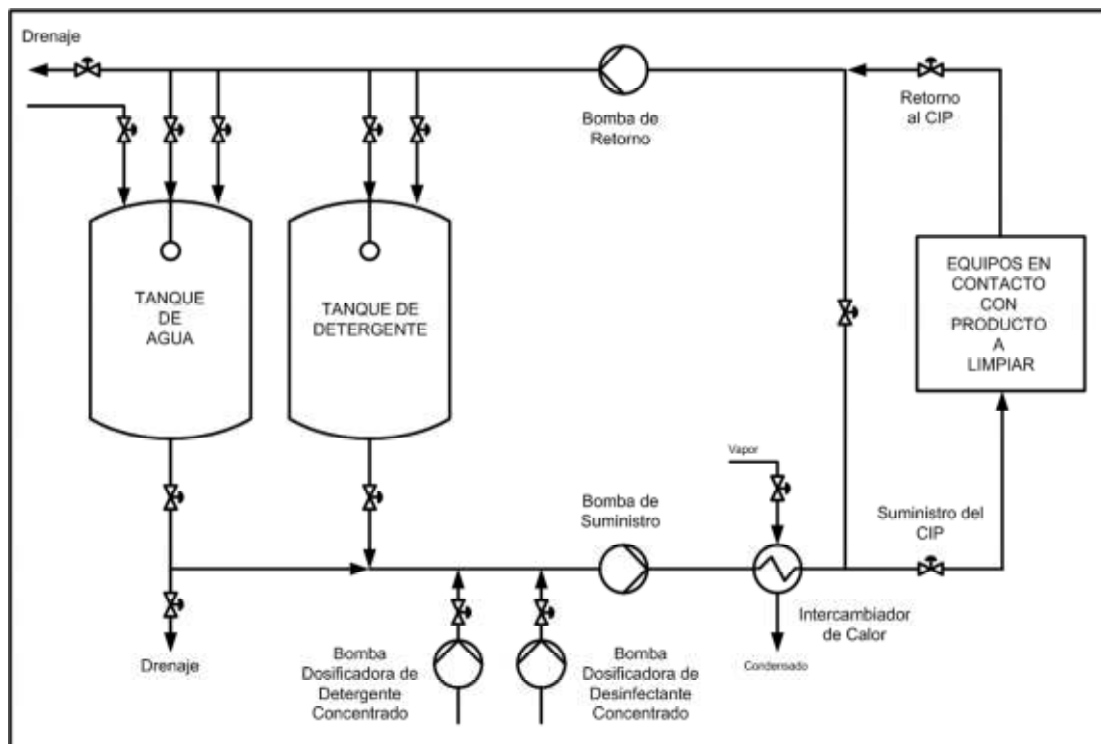


Figura N° 5. Estación de Limpieza CIP (Elaboración Propia)

2.2.7.2. Tipos de CIP (Marriot, 2006)

Los sistemas CIP pueden clasificarse en dos grupos:

(a) Sistema de Pérdida Total: Se caracterizan por utilizar la solución limpiadora una sola vez. Por lo general constan de equipos pequeños, con frecuencia situados adyacentes al equipo que se va a limpiar y desinfectar. Su empleo se recomienda para equipos que presenten suciedad densa, ya que la reutilización de la solución limpiadora es menos factible. Estos sistemas emplean solo una bomba de suministro, ya que las soluciones se envían al desagüe.

Comparando este tipo de CIP con otros sistemas, éstos son más compactos, económicos y su instalación es más sencilla. En la Figura N° 6 se representa un sistema típico de pérdida total.

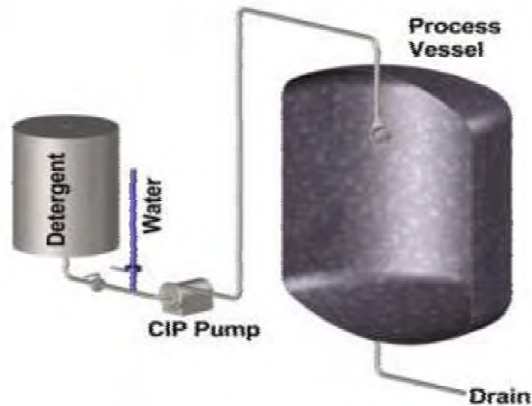


Figura N° 6. Sistema CIP de Pérdida Total (Marriot, 2006)

(b) Sistema de Recuperación: Se caracterizan por reutilizar las soluciones limpiadoras. Es importante comprender que la contaminación de estas sustancias es mínima porque la mayoría de la suciedad ha sido eliminada durante el pre-enjuagado. Además, generalmente se realiza un drenaje de lodos al tanque de almacenamiento de la solución limpiadora, en caso de que ésta presente residuos sólidos en bajas proporciones.

Estos sistemas cuentan con un tanque para cada producto químico y bombas de alimentación y de retorno. La Figura N° 7 muestra el esquema de un sistema de recuperación.

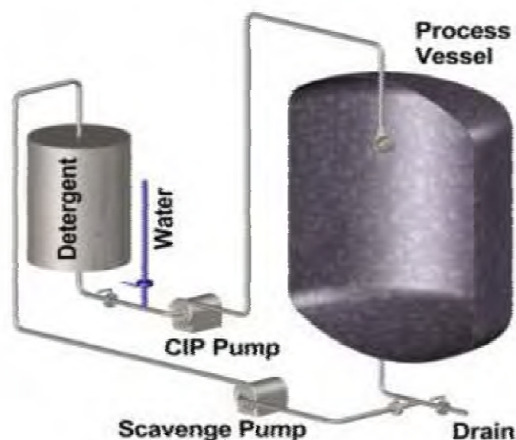


Figura N° 7. Sistema CIP de Recuperación (Marriot, 2006)

2.2.7.3. Ventajas y Desventajas de los Sistemas CIP (Tamime, 2008)

Las características ventajosas de los sistemas CIP son:

- (a) Reducen la mano de obra debido a la automatización del sistema
- (b) Higiene mejorada (los sistemas automatizados limpian y desinfectan con más eficacia que la limpieza manual)
- (c) Conservación de la solución de limpieza
- (d) Disminución del tiempo de interrupción de procesos debido a la limpieza
- (e) Menor riesgo de contacto con los químicos de limpieza
- (f) Limpieza de las áreas de difícil acceso
- (g) Optimización del uso de las soluciones limpiadoras y del agua

Las desventajas de los sistemas CIP son:

- (a) Altos costos de los equipos, de instalación y mantenimiento
- (b) Requieren ser operados por personal calificado

- (c) Necesidad de realizar rutinas de medición para garantizar que los parámetros de limpieza se encuentren dentro de los rangos establecidos

2.2.7.4. Elementos de Control de los Sistemas CIP

El principio de los sistemas CIP consiste en controlar y combinar las ventajas de cuatro parámetros que influyen directamente sobre la eficacia de la limpieza. Estos parámetros son: el efecto químico, el tiempo, temperatura y los efectos mecánicos. La combinación de estos parámetros es indispensable para lograr una limpieza óptima y eficiente.

- Efectos Químicos (Cervecería Polar, 1994):

Los efectos químicos son de suma importancia, ya que la concentración adecuada de la solución de limpieza facilita la remoción de la suciedad así como la desinfección del equipo.

La actividad del compuesto limpiador aumenta a medida que se incrementa la concentración de la solución que lo contiene, hasta llegar al punto límite en el que el detergente no aumentará su poder limpiador por más alta que sea esta concentración. Se debe tener en cuenta que concentraciones inadecuadas pueden causar daños a las capas protectoras de los equipos provocando corrosión.

Después de cada limpieza la solución limpiadora presenta residuos de suciedad que paulatinamente disminuyen su efecto de limpieza, por ende, es importante trabajar con una solución de limpieza limpia, para así garantizar la eficacia del proceso.

- Efectos del Tiempo:

Los efectos del tiempo se refieren a la duración de la acción de un líquido limpiador sobre la superficie sucia. El éxito del CIP depende en parte de un tiempo de tratamiento suficientemente prolongado, ya que algunas fases de la limpieza y la destrucción de los gérmenes exigen largos plazos. A medida que aumenta el tiempo de contacto de un compuesto limpiador con la superficie, ésta se limpia más. El

método de aplicación del compuesto limpiador y las características del mismo influyen sobre este tiempo de exposición (Wildbrett, 2000).

En la práctica existe el peligro de incurrir en tiempos insuficientes de tratamiento cuando éstos se asignan sin tener en cuenta otros factores. Sin embargo, mientras más se prolongue el tiempo de realización del proceso, más altos serán los costos para la planta, ya que implican mayor consumo de químicos y tiempo sin producción (Flückiger, 1977).

- Efectos de la Temperatura (Wildbrett, 2000):

El aumento de la temperatura en el proceso de CIP acelera el efecto de limpieza, ya que favorece la difusión del detergente hacia el sucio, la rapidez de reacción del detergente y la disminución de la viscosidad del sucio. Como referencia, hasta temperaturas de 65°C, por cada aumento de temperatura en 10°C, es posible reducir el tiempo de limpieza a la mitad.

Sin embargo, el aumento de la temperatura se encuentra limitado porque aumenta el efecto corrosivo de las sustancias limpiadoras. Además, a temperaturas por encima de 85 °C la inestabilidad del detergente puede ocasionar transformaciones en la suciedad que la adhieran con mayor fuerza a las superficies, dificultando el proceso de limpieza. Estos cambios ocurren especialmente cuando la temperatura de la solución aumenta súbitamente.

Por otra parte, es necesario estudiar con detalle si la mayor eficacia que se logra con una solución discretamente calentada no supera el inconveniente de un superior gasto de energía. En la Tabla N° 3 se señalan los efectos positivos y negativos del empleo de altas temperaturas en la limpieza.

Tabla N °3. Efecto de altas temperaturas del detergente sobre la eficacia de la limpieza

Efectos Positivos	Efectos Negativos
Menor capacidad adhesiva	Mala eliminación de las suciedades proteicas
Disminuye la viscosidad de la suciedad	Altera térmicamente las enzimas
Funden la suciedad grasa	Menor capacidad captadora de suciedad de las sustancias lípidas
Aceleran la difusión	Menor solubilidad de sustancias responsables de la dureza del agua
Aceleran las reacciones químicas y enzimáticas	
Mayor solubilidad de componentes solubles de la suciedad	

- Efectos Mecánicos (Cervecería Polar, 2009):

Para separar la suciedad de una superficie sólida, deben vencerse las fuerzas de adherencia que se establecen entre ambos componentes. Por consiguiente, la eliminación de la suciedad requiere la aplicación de fuerzas mecánicas. Por fuerzas mecánicas se entienden la velocidad, el caudal y presión adecuados a los cuales debe circular la solución durante la limpieza, para poder lograr un buen impacto en la superficie del equipo que permita remover adecuadamente el sucio.

Para lograr una limpieza eficaz hay que procurar una corriente turbulenta. A medida que aumenta la velocidad del líquido, disminuye el trayecto que deben superar mediante difusión las partículas de suciedad hasta el interior de la corriente.

Los sistemas CIP se rigen por normas recomendadas internacionalmente. Por encima de 1,5 m/s el flujo en soluciones acuosas cambia de laminar (poco efecto mecánico) a turbulento (buen efecto mecánico) en cualquier tubería. A partir de estas velocidades se garantiza el tránsito del líquido por los espacios muertos de las tuberías.

Por esta razón la norma para limpieza en tuberías suele ser de 2 m/s. En excepciones se pueden manejar caudales inferiores a 2 m/s, pero bajo ninguna circunstancia los caudales deben ser inferiores a 1,5 m/s. Se sobreentiende que en casos de tuberías de diferentes diámetros la velocidad recomendada se debe lograr en el diámetro mayor. Para evitar dañar a los equipos, los fabricantes recomiendan no exceder flujos por encima de 4 m/s, ya que a partir de ese valor podría generarse cavitación.

El efecto mecánico también se presenta durante el lavado de tanques. En este caso el efecto se origina por el impacto de las gotas o de la propulsión del líquido sobre las paredes del tanque y por el caudal que se desliza hacia abajo. Ambos efectos los determinan la presión y el flujo a la que debería realizarse el lavado y dependen del equipo instalado.

En resumen, se debe mantener un control adecuado de cada una de las variables asociadas a este sistema, con la finalidad de obtener un proceso más integro en cuanto a calidad, costos y eficiencia.

2.2.7.5. Sistema CIP de la línea de Envasado de Botellas PET

El sistema CIP empleado en la línea de envasado PET de Cervecería Polar, es una unidad estándar que ejecuta de manera automática los procesos de enjuague, lavado y desinfección de los equipos y tuberías relacionados con la línea. El equipo instalado consta de un sistema de recuperación total del detergente, más no del desinfectante ni del agua.

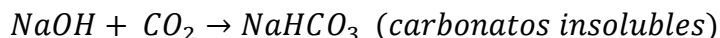
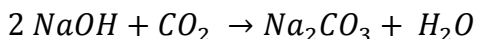
El detergente utilizado en Cervecería Polar es la Soda Cáustica, la cual se encuentra aditivada con un agente surfactante que mejora su efecto limpiador. Esta solución detergente debería ser empleada en varios ciclos de limpieza antes de ser desechada. Asimismo su reutilización depende de la cantidad de material orgánico (suciedad) en suspensión y de la concentración de carbonatos en la solución.

Según Kunze (2004), las soluciones detergentes correspondientes a Soda Cáustica deben ser descartadas posteriormente a su uso, este tipo de acciones es económicamente insostenible, por lo cual hace la siguiente acotación: “(...) si no se descarta una solución de limpieza inmediatamente después de su uso es porque:

- (a) Va a ser empleada en la próxima oportunidad como solución de pre-limpieza o,
- (b) La solución de Soda ha sido sometida a un proceso de limpieza como por ejemplo filtración y/o precipitación que ha retirado el grueso del material orgánico en suspensión”.

Igualmente, Kunze (2004), hace referencia que las soluciones de Soda Cáustica al estar en contacto con el ambiente forman compuestos secundarios “los carbonatos”, los cuales se encuentran asociados a una disminución de las propiedades limpiadoras y bactericidas de la Soda. Por tal motivo, vale la pena considerar a los carbonatos como uno de los parámetros a controlar en las soluciones detergentes de origen cáustico. Los carbonatos también se forman debido al contacto de las soluciones de limpieza con el dióxido de carbono empleado en la producción de la malta, por lo que es necesario realizar un barrido antes de realizar la limpieza, mediante el empleo de aire para drenar el dióxido de carbono presente en los equipos.

La reacción de formación de carbonatos es la siguiente:



En el caso de la línea de envasado PET, la solución detergente se encuentra almacenada en un tanque de fondo cónico, de esta manera se busca la sedimentación de las partículas en suspensión y el procedimiento de uso contempla una purga del tanque antes de ser empleada nuevamente en el próximo CIP. Asimismo se lleva a cabo la reconcentración de la solución para mantenerla en las condiciones óptimas de uso.

En Cervecería Polar existen manuales y procedimientos publicados sobre los Sistemas CIP de cada planta en particular, de esta manera se busca orientar al personal técnico sobre las normas, procesos y parámetros generales de sanitación, así como aclarar el funcionamiento y operación de los equipos que comprende la estación CIP.

La solución desinfectante utilizada es de acción directa, no espumante, a base de una estabilizada combinación de peróxido de hidrógeno y ácido peracético, denominada Oxonia. El desinfectante sufre una degradación química al reaccionar con los microorganismos presentes en los equipos, por lo cual es desechado luego de su aplicación.

Este sistema CIP se encuentra conformado por dos tanques que almacenan la solución detergente y el agua de enjuague respectivamente. Los tanques suministran las sustancias limpiadoras a la línea de tuberías y equipos involucrados en el proceso de envasado del producto. Estas soluciones son impulsadas y retornadas a través de la tubería mediante el empleo de dos bombas.

El ciclo realizado por las soluciones limpiadoras comienza en los tanques reservorios, pasando por las tuberías que suministran el producto desde el área de elaboración hasta la línea de envasado. Posteriormente, las sustancias siguen el circuito que realiza el producto durante el envasado, con la diferencia de que al salir de la llenadora la solución es reenviada al tanque del detergente para iniciar el ciclo nuevamente. La Figura N° 8 muestra el recorrido realizado por la solución detergente en el sistema CIP de la línea de envasado PET.

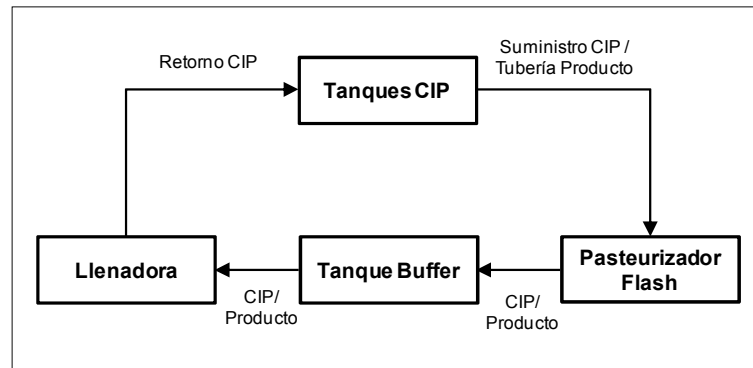


Figura N° 8. Circuito recorrido por la solución de limpieza del CIP correspondiente a la Línea de Envasado PET (Elaboración propia)

Cada uno de los equipos que son lavados por las estaciones CIP, tienen un programa de lavado propio, el cual consiste en una secuencia de pasos que se llevan a cabo de forma automática, donde en cada uno se especifican las condiciones que se deben cumplir durante la ejecución de dicho paso.

Las variables que determinan la ejecución de cada una de las etapas de limpieza son:

- (a) Tiempo de Paso: es el tiempo que transcurre una vez alcanzados los valores de referencia “set point” para las variables de caudal, temperatura y conductividad.
- (b) Tiempo de Supervisión: es la duración máxima que puede esperarse para que se alcancen los “set point”.
- (c) Temperatura: valor que debe alcanzar el fluido en el retorno al CIP.
- (d) Caudal: flujo que deben alcanzar las bombas de la estación, las cuales son de velocidad variable.
- (e) Conductividad: representa la concentración de detergente que debe de poseer la solución en circulación.

La efectividad de la limpieza depende del cumplimiento adecuado de cada una de las variables del programa. Estas variables comprenden la base de estudio de esta investigación, el cual será regido siguiendo las normas de calidad correspondientes.

2.3. CALIDAD

La calidad se puede definir como el grado en el que un conjunto de características y propiedades inherentes de un producto o servicio cumple con las necesidades o expectativas, generalmente implícitas u obligatorias de los consumidores (ISO 9001, 2008).

La calidad de los alimentos implica la conservación de su pureza y de sus cualidades físicas, nutritivas y organolépticas que les son propias desde su origen o producción primaria y que deben conservarse a través de su procesamiento libre de contaminación (Lelieveld, 2003).

El riesgo de contaminación está presente desde su producción primaria y permanece latente en todas las etapas de la industrialización y se refiere a la invasión de cualquier elemento ya sea físico, químico o biológico, que cause alguna alteración, dañe la salud humana o simplemente contravenga el sentido estético del consumidor.

Existen diferentes formas de analizar la calidad de un producto, sin embargo, este estudio se enfocará en la calidad microbiológica y la ausencia de sustancias químicas nocivas.

2.3.1. Calidad Microbiológica (Campbell y Priest, 2003)

La calidad microbiológica consiste en la evaluación del cumplimiento de los requisitos microbiológicos concernientes al producto y a las áreas de fabricación. El desempeño inadecuado de este sector puede provocar la contaminación del producto y problemas de salud pública. Para garantizar la inocuidad se debe comprobar la eficacia de la limpieza; esto se realiza mediante diferentes análisis, y en caso de encontrar irregularidades se toman las medidas correctivas necesarias. Las técnicas empleadas para confirmar la inocuidad se basan en la inspección visual, seguimiento de los procesos de limpieza y pruebas microbiológicas como la Bioluminiscencia (ATP), la cual determina el estado higiénico de una superficie, y los cultivos microbiológicos, con los que se estima el número de microorganismos presentes.

Los análisis que se realizan en el proceso de producción de la cerveza y malta cubren una gran cantidad de microorganismos como: bacterias (*Pediococcus sp.*, *Lactobacillus sp.*, *Pectinatus sp.*, esporulados, enterobacterias), levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*) y mohos (*Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*); los cuales deben encontrarse en cantidades limitadas de acuerdo a las normas de higiene.

En los últimos años, se ha comprobado que una vía eficiente para mejorar el funcionamiento del Sistema de Gestión de la Calidad, es la implementación de las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM). Dicho sistema permite identificar peligros específicos y proporciona medidas preventivas y correctivas para su control, con el objetivo de garantizar la inocuidad de los alimentos.

2.3.2. Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) (Folgar, 2000)

Las Buenas Prácticas de Manufactura constituyen un conjunto de procedimientos básicos para la obtención de productos seguros para el consumo humano, que se centralizan en la higiene y la forma de manipulación, con el fin de garantizar la inocuidad mediante el cumplimiento de estándares de calidad. Este sistema es empleado mundialmente para minimizar errores en la manufactura de productos

alimentarios, ya que nunca se puede asegurar que los errores vayan a detectarse al someter al producto a las pruebas finales, es decir, antes de ser distribuido.

Las BPM tienen tres objetivos claros: evitar errores en el proceso de producción, evitar la contaminación del producto y garantizar el seguimiento de cualquier problema que pueda presentar el proceso.

Por otro lado, el sector alimentario siempre busca la disminución de los costos de producción y venta, las BPM ofrecen la posibilidad de lograrlo manteniendo la calidad y asegurando la inocuidad. Dada esta situación, aquellas industrias interesadas en participar del mercado global deben contar con las BPM.

2.3.2.1. Aplicación de las BPM

En general, la aplicación de las BPM incluye una serie de incumbencias técnicas para el control de un producto. Básicamente, cubren los siguientes campos durante la producción:

- (a) Recepción y almacenamiento de materia prima
- (b) Estructura del establecimiento
- (c) Personal
- (d) Higiene en la elaboración y envasado
- (e) Almacenamiento y transporte de materias primas y producto final
- (f) Control de procesos en la producción
- (g) Documentación

Durante el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado, solo se aplicarán las BPM dirigidas a la higiene en envasado, el control de procesos en la producción y la documentación, por ser éstas las áreas en las que se desarrollará la investigación. En función a esto, a continuación se detallarán dichos campos específicamente:

- Higiene en el Envasado:

Los equipos empleados deben mantenerse en buen estado higiénico, además, deben ser de un material que no transmita sustancias tóxicas, olores, ni sabores. Las

superficies de trabajo no deben tener hoyos, grietas ni fugas. Para la limpieza y la desinfección es necesario utilizar productos que no tengan olor ya que pueden producir contaminaciones además de enmascarar otros olores pertenecientes al producto. Por otro lado, el agua utilizada debe ser potable, provista a presión adecuada y a la temperatura necesaria.

Todos los procesos deben realizarse sin demoras ni contaminaciones. En caso de que se sospeche una contaminación debe aislarse y descartar el producto en cuestión y lavar adecuadamente todos los equipos y los utensilios que hayan tenido contacto con el mismo. Los equipos deben tratarse adecuadamente para evitar su contaminación, realizando un programa de limpieza periódico y verificando la eficacia del mismo mediante pruebas microbiológicas.

El material destinado al envasado y empaque debe estar libre de contaminantes y no debe permitir la migración de sustancias tóxicas. Debe inspeccionarse siempre con el objetivo de tener la seguridad de que se encuentra en buen estado.

- Control de Procesos en la Producción:

Para tener un resultado óptimo en las BPM son necesarios ciertos controles que aseguren el cumplimiento de los procedimientos y los criterios para lograr la calidad esperada en un alimento, garantizar la inocuidad y la genuinidad de los alimentos.

Los controles sirven para detectar la presencia de contaminantes físicos, químicos o microbiológicos, y también para encontrar y controlar las variables que podrían originar esos tipos de contaminación. Para verificar que los controles se lleven a cabo correctamente, deben realizarse análisis que monitoreen si los parámetros indicadores de los procesos y productos reflejan su estado real.

- Documentación:

La documentación es un aspecto básico, debido a que tiene el propósito de definir los procedimientos y los controles del proceso. El sistema de documentación comienza desde los números de lotes creados en la planificación de la producción

hasta el producto terminado, incluyendo el transporte y la distribución. Esto permite mantener un seguimiento del producto.

En resumen, estas prácticas garantizan que las operaciones se realicen higiénicamente desde la llegada de la materia prima hasta obtener el producto terminado. Por tanto, todas aquellas empresas y personas que están involucradas en una cadena agroalimentaria, no pueden, ni deben ser ajenas a la implementación de las BPM. Por otra parte, la aplicación de las BPM debe sustentarse mediante la implementación de un sistema de control de calidad en el proceso productivo.

2.3.3. Control de Calidad (Johnson, 1997)

El control de calidad es un conjunto de procedimientos planificados y bien definidos, que son necesarios para garantizar que un producto cumplirá con los requisitos de calidad. Básicamente se trata de verificar la calidad de un producto o proceso, compararla con las normas o especificaciones y realizar acciones correctivas en caso de encontrar diferencias.

La efectividad del control de calidad se logra mediante una evaluación continua de los factores que afectan a la calidad y realizando auditorías periódicas. Estas evaluaciones son llevadas a cabo mediante el empleo de técnicas estadísticas que permiten entender y predecir el comportamiento de las variables que afectan a un determinado proceso.

2.4. HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN Y OPORTUNIDADES DE MEJORA

Para el desarrollo adecuado del plan de mejora del proceso, se cuenta con una serie de herramientas que permiten la evaluación de condiciones de operación, como lo son el análisis estadístico, la ecuación general de la energía y el balance de masa. A continuación se realiza una breve descripción de cada una de estas herramientas:

2.4.1. Análisis Estadístico

La estadística se basa en la aplicación de métodos y técnicas para la toma, organización, análisis e interpretación de datos, tanto para la deducción de conclusiones, como para la toma de decisiones razonables de acuerdo a tales análisis (Johnson, 1997).

2.4.1.1. Clasificación de la Estadística (Johnson, 1997):

Existen dos ramas de la estadística: la descriptiva y la inductiva. A continuación se detallan cada una de ellas:

- (a) Estadística Descriptiva: Es la rama de la estadística que trata de describir y analizar un grupo dado sin sacar conclusiones o inferencias de un grupo mayor. La estadística descriptiva incluye las técnicas que se relacionan con el resumen y la descripción de datos numéricos. Estos datos pueden ser gráficos o pueden incluir análisis computacional.
- (b) Estadística Inductiva: La inferencia estadística comprende aquellas técnicas por medio de las cuales se toma decisiones sobre una población estadística basadas solo en la muestra observada. Debido a que dichas decisiones se toman en condiciones de incertidumbre, entonces estas serán confiables con cierto grado de probabilidad. Considerando que las características medidas de una muestra se denominan estadísticas de la muestra, las características medidas de una población estadística, o universo se llaman parámetros de la población.

2.4.1.2. Control Estadístico de Procesos

El control estadístico de procesos tiene como propósito la detección y eliminación de causas de variabilidad en el proceso, para que este sea prácticamente constante y predecible. La estabilidad del proceso, alcanzada mediante un control estadístico del mismo, es un requisito imprescindible para mantener la calidad del producto (Johnson, 1997).

Sin importar que tan bien diseñado sea un proceso, siempre tendrá una cierta variabilidad natural, también conocida como “ruido”, y no es más que el efecto de muchas pequeñas pero inevitables causas. Un proceso que opera con una variación proveniente únicamente de estas causas fortuitas se dice que se encuentra bajo control estadístico, ya que estas causas son inherentes al proceso (Johnson, 1997).

Mediante el empleo del control estadístico de procesos, se calculan valores importantes denominados “estadísticos”, como lo la media, la varianza y la desviación estándar, que permiten describir la tendencia central y la variabilidad de los datos a analizar. Todos estos términos se describen a continuación:

- Media: Es el valor de la tendencia central de mayor interés, o media aritmética. Es la suma de todos los valores dividida entre el número de valores, y se representa por el símbolo \bar{x} (Vargas, 1995).
- Desviación Estándar: Es una medida de la dispersión que viene dada en las unidades de los datos originales. Se define como la raíz cuadrada positiva de la varianza, y se denota como s . En el presente trabajo se le refiere como “SD” (Vargas, 1995).
- Coeficiente de Variación: Es una medida estadística que indica lo grande que es la desviación estándar en comparación con la media. Se define como la división de SD sobre \bar{x} , y se denota como “CV”. Generalmente, se toman valores de CV inferiores a 5 % como un comportamiento favorable, mientras que valores mayores a 10% son indeseados y representan problemas de variabilidad. En base a esto, para el presente trabajo de investigación se toma

como favorable el desempeño de una variable si su CV es igual o menor a 10%.

El control estadístico de procesos está conformado por los siguientes lineamientos o herramientas:

- (a) Histograma y gráficos de Talla y Hoja
- (b) Hoja de Control
- (c) Diagrama de Pareto
- (d) Diagrama de Causa-Efecto
- (e) Diagrama de Concentración de Defectos
- (f) Diagrama de Dispersión
- (g) Gráfico de Control
- (h) Prueba Q de Dixon

A continuación se describen las herramientas de control estadístico que serán empleadas en el desarrollo de la investigación:

- (a) Diagrama de Pareto (Montgomery, 2005):

Los diagramas de Pareto son empleados para representar de manera gráfica la clasificación de los problemas y fallas de acuerdo con su frecuencia, con el fin de identificar y cuantificar importantes defectos y sus causas.

Se utiliza un formato de gráfica de barras dispuestas de la categoría más numerosa a la menos numerosa (mayor a menor frecuencia). De esta forma, se puede dar prioridad a la solución de los problemas, en función al que ocurra un mayor número de veces. La Figura N° 9 muestra la estructura de un diagrama de Pareto.

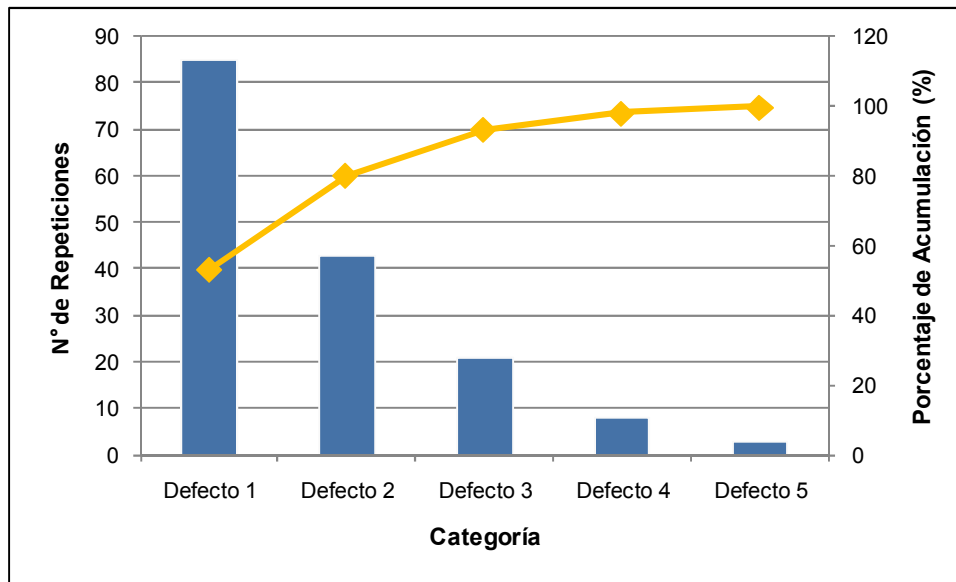


Figura N° 9. Estructura básica de un Diagrama de Pareto (Montgomery, 2005)

(b) Diagrama de Causa-Efecto (Montgomery, 2005):

Un diagrama de Causa y Efecto es la representación de varios elementos (causas) de un sistema que pueden contribuir a un problema (efecto). Es una herramienta efectiva para estudiar procesos y situaciones, y para desarrollar un plan de recolección de datos.

Una vez elaborado, el diagrama causa-efecto representa de forma ordenada y completa todas las causas que pueden determinar cierto problema y constituye una base útil de trabajo para poner en marcha la búsqueda de sus verdaderas causas. En la Figura N° 10 se puede apreciar la forma básica de este tipo de diagrama.

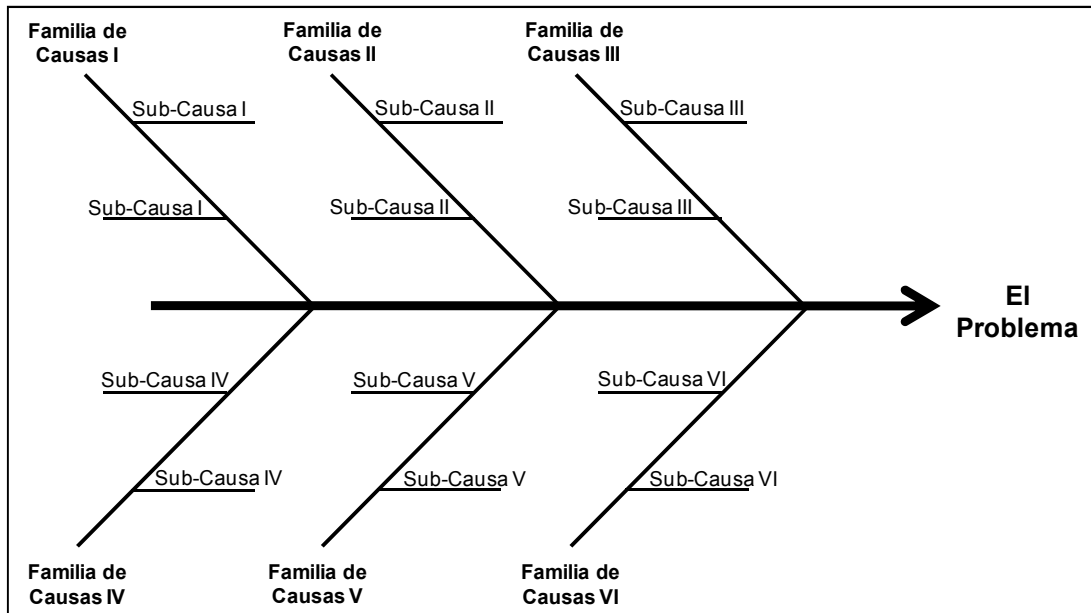


Figura N° 10. Estructura básica de un Diagrama Causa-Efecto (Montgomery, 2005)

(c) Gráfico de Control (Johnson, 1997):

Los gráficos de control constituyen una técnica de monitoreo de procesos en línea. Se pueden usar para estimar los parámetros de un proceso de producción (media, varianza, fracción disconforme, etc.) y así, determinar la capacidad del mismo para producir productos aceptables.

Estos gráficos consisten en una línea central correspondiente a la calidad media bajo la cual el proceso debe operar y en líneas correspondientes a los límites superior e inferior de control. Los límites se escogen de manera que los valores que caigan entre ellos puedan atribuirse al azar, mientras que los valores que se ubiquen más allá de ellos se interpreten como indicación de una falta de control. Un gráfico de control puede indicar si un proceso está o no fuera de control cuando uno o más puntos están fuera de los límites de control o cuando los puntos siguen un patrón de comportamiento no aleatorio. En la Figura N° 11, se puede apreciar la forma general de este tipo de gráfico:

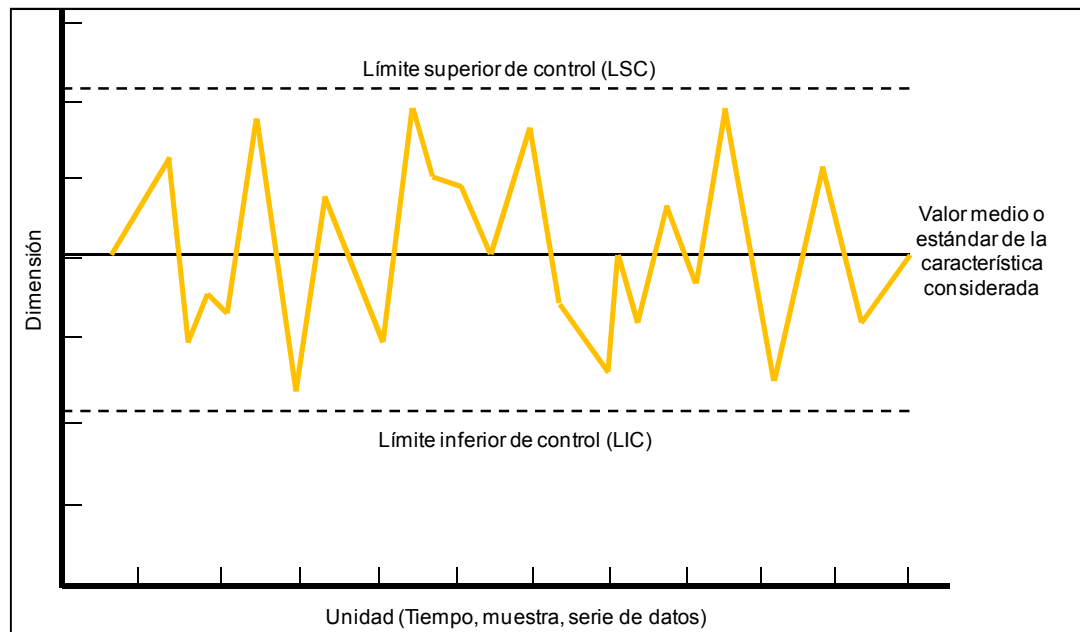


Figura N° 11. Estructura básica de un Gráfico de Control (Johnson, 1997)

Además de los límites de control y la línea central que se observan en la gráfica, también se tienen dos límites o rangos que son usualmente añadidos a muchos gráficos de control, los cuales se detallan a continuación:

- Límites de alerta: Denota el rango dentro del cual una variable se encuentra en valores seguros y que no representan riesgo de provocar una condición fuera de control.
- Límites de especificación: Son los valores pre-establecidos por la empresa para una determinada variable. Básicamente, representan el rango dentro del cual una variable cumple con las especificaciones establecidas.

Existen diversos indicativos que denotan la existencia de una condición fuera de control, los cuales pueden ser detectados al analizar un gráfico de control. A continuación se presentan los 3 estratos más importantes:

- Primero: La existencia de un punto fuera de los límites de control.
- Segundo: La presencia de dos puntos consecutivos fuera de los límites de alerta.

- Tercero: La existencia de ocho puntos consecutivos en uno de los lados de la línea central.

Por otra parte, dependiendo del comportamiento de una determinada variable y de la presencia de una condición fuera de control, se puede determinar si existe riesgo de incurrir en dos tipos diferentes de errores:

- Error tipo I: Representa el riesgo de castigar a un punto cuando realmente no existe una causa asignable, es decir, catalogar un sistema como fuera de control cuando en realidad se encuentra bajo control estadístico.
- Error tipo II: Representa el riesgo de aprobar un punto cuando realmente existe una causa asignable, es decir, catalogar un sistema como bajo control estadístico cuando realmente se encuentra fuera de control.

(d) Prueba Q de Dixon (Johnson, 1997):

Durante la recolección de la data a analizar pueden existir valores que no coinciden con el comportamiento del resto de los datos. Generalmente este tipo de datos son denominados anómalos, por diferir excesivamente de la media, por lo cual es necesario decidir si el dato debe ser retenido o rechazado. Esta decisión se realiza mediante la aplicación de la prueba Q de Dixon, en la cual los datos obtenidos se ordenan de menor a mayor, luego se calcula la diferencia entre el valor cuestionable (X_q) y su vecino más próximo (X_n), y finalmente, se calcula la diferencia entre los valores máximo y mínimo del rango de datos. De esta manera se obtiene $Q_{experimental}$, según la siguiente fórmula:

$$Q_{experimental} = \frac{|X_q - X_n|}{rango} \quad (Ec. 1)$$

El valor obtenido de $Q_{experimental}$ se compara con los valores de rechazo $Q_{crítico}$, que se encuentran tabulados dependiendo del número de datos recopilados (véase anexo 1). En caso de que $Q_{experimental}$ sea mayor a $Q_{crítico}$, el resultado puede ser rechazado con el grado de confianza indicado en la tabla de datos de $Q_{crítico}$.

Cada uno de los aspectos teóricos explicados en esta sección, serán fundamentales para el desarrollo de la metodología y el cumplimiento del segundo objetivo de la presente investigación.

2.4.2. Ecuación General de la Energía (Mott, 2006)

La ecuación general de la energía describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de corriente, y no es más que una extensión del principio de Bernoulli. Básicamente, el principio de Bernoulli expresa que para un fluido ideal en régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía permanece constante a lo largo de su recorrido. La energía de un fluido en cualquier momento consta de tres componentes que conforman ésta ecuación:

- (a) Cinético: es la energía correspondiente a la velocidad del fluido
- (b) Potencial: es la energía debido a la altitud que un fluido posea
- (c) Energía de flujo: representa la cantidad de trabajo necesario para mover el elemento de fluido a través de cierta sección contra una presión “p”

Cada término de la ecuación de Bernoulli es una forma de la energía que posee el fluido por unidad de peso del fluido que se mueve en el sistema. Sin embargo, la ecuación de Bernoulli solo puede ser empleada para fluidos incompresibles y sin tomar en cuenta las pérdidas de energía que sufre el fluido debido a la fricción. La ecuación general de la energía si es apta para ser empleada en presencia en todos los casos que no lo permite la ecuación de Bernoulli y será la que se implementará para los cálculos necesarios en la realización del proyecto. La forma básica de la ecuación general de la energía es la siguiente:

$$\frac{P_1}{\rho g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

P: presión (Pa)

v: velocidad del fluido (m/s)

Z: altura (m)

h_A : energía agregada por dispositivos mecánicos (m)

h_R : energía que se remueve del fluido por un dispositivo mecánico (m)

h_L : pérdidas de energía por fricción en los conductos (m)

g: aceleración de la gravedad (m/s^2)

ρ : densidad del fluido (Kg/m^3)

Las pérdidas de energía vienen dadas por:

$$h_R = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (\text{Ec. 3})$$

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

K: coeficiente de resistencia (adimensional)

f: factor de fricción (adimensional)

D: diámetro (m)

Los coeficientes “K” y “L/D” se encuentran tabulados en la literatura técnica especializada, o deben ser proporcionados por los fabricantes de cada pieza en específico.

El factor de fricción “f”, se calcula con la ecuación de Swamee & Jain:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (\text{Ec. 5})$$

$$\text{Para: } 4 \times 10^3 \leq Re \leq 1 \times 10^8 \quad \text{y} \quad 1 \times 10^{-6} \leq \varepsilon/D \leq 1 \times 10^{-2}$$

El término “ ε ” representa la rugosidad del material de la tubería y “Re” el número de Reynolds, que viene dado por la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

μ : viscosidad del fluido (cP)

2.4.3. Balance de Masa

La ley de conservación de la materia establece que ésta no puede ser creada ni destruida, lo cual conduce al concepto de masa, y la ley correspondiente puede establecerse afirmando que la masa de las sustancias que intervienen en un proceso cualquiera permanece constante (Mc Cabe y Smith, 1998).

La conservación de la masa exige que los materiales que entran en un proceso tienen que acumularse o salir del mismo, o lo que es equivalente, no puede haber pérdidas ni ganancias durante el proceso (Mc Cabe y Smith, 1998).

La ecuación general de balance de masa de una sustancia A, dentro de un sistema, es la siguiente (Felder y Rousseau, 1999):

$$ACUMULACIÓN = ENTRADA + PRODUCCIÓN - SALIDA - CONSUMO \quad (\text{Ec. 7})$$

$$\Rightarrow \frac{dm}{dt} = m_E + \gamma_{PROD} - m_S - \gamma_{CONS} \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde:

m : acumulación de masa de A en el sistema (Kg/h)

m_E : velocidad de entrada de A al sistema (Kg/h)

m_S : velocidad de salida de A del sistema (Kg/h)

γ_{PROD} : producción de A (Kg/h)

γ_{CONS} : consumo de A (Kg/h)

Dentro de los flujos de masa que salen del sistema, se incluyen las pérdidas de insumos y productos por derrames, fugas y otras causas similares, cuyo origen no es conocido, por ende, sus masas no pueden ser cuantificadas (Mc Cabe y Smith, 1998).

Para la realización del balance de masa de un proceso, se requiere de toda la información asociada al manejo de los datos de entradas y salidas, incluyendo parámetros de operación, así como de información existente a nivel de la administración.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Con base en el análisis de las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y el Control Estadístico de Calidad, señalados en el capítulo anterior y considerando las necesidades inmediatas presentadas por la empresa, se analizaron las variables que inciden en las oportunidades de mejora del sistema CIP de la línea de envasado PET de la cervecería.

A continuación se realiza una descripción de las etapas, instrumentos y técnicas que se requirieron para alcanzar los objetivos trazados.

3.1. CONOCER EL PROCESO DE MANUFACTURA DEL PRODUCTO MALTÍN POLAR Y LA OPERACIÓN DEL SISTEMA CIP

En esta etapa se asistió a cursos sobre el funcionamiento del sistema, los cuales fueron impartidos por el personal especializado del área de Envasado, para comprender el funcionamiento de la maquinaria empleada en el proceso.

Adicionalmente, se realizaron recorridos por la planta y en el área donde se encuentra el sistema CIP correspondiente a la línea de envasado PET. De esta manera, se identificaron y estudiaron los equipos que conforman el proceso, sus funciones, la manera en la que operan y las etapas que desempeñan en los procesos de elaboración, envasado y limpieza.

Por otra parte, se realizó la búsqueda y revisión de material bibliográfico, documentos, publicaciones periódicas, trabajos anteriores referentes al tema y afines, con el propósito de conocer a profundidad los aspectos relacionados con los procedimientos de Limpieza en Sitio. Además, se consultaron los manuales de operación de cada uno de los equipos, el diagrama de flujo de proceso del sistema y los manuales del sistema de gestión de calidad de la empresa.

Estas acciones permitieron obtener una visión general del proceso y las bases necesarias para la puesta en marcha del proyecto.

3.2. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN ACTUALES DEL SISTEMA

Mediante la aplicación de un control estadístico de calidad, se analizaron cada una de las etapas del proceso de limpieza, a fin de verificar las condiciones de operación bajo las cuales se encontraba el proceso, lo que permitió verificar la problemática planteada por la empresa. Para ello, se realizó un seguimiento a todas las variables que influyen en el proceso:

- (a) Concentración de sustancias químicas: Se midió la concentración a la que circula el detergente mediante la toma de muestras durante la realización del proceso, cuya concentración fue determinada en el laboratorio posteriormente según el procedimiento que se describe a continuación:
- Se depositaban 10 mL de muestra en un matraz erlenmeyer.
 - Se agregaban 3 gotas de un indicador (fenolftaleína) a la muestra, para que tomara un color rosa.
 - La muestra era titulada con una solución de Ácido Clorhídrico (HCl) al 1,0 N de concentración, hasta que la muestra se tornaba incolora. Se tomaba nota de los mililitros de HCl consumidos en esta fase (valor “f”).
 - Se añadían 3 gotas de un indicador, denominado “Indicador Mixto”, para que la solución tornara a color azul.
 - La muestra se titulaba nuevamente con la solución de HCl al 1,0 N, hasta que se la muestra viraba su color a naranja. Se tomaba nota de los mililitros de HCl consumidos en esta fase (valor “m”).
 - La concentración de Soda Cáustica (NaOH) se obtenía mediante la siguiente ecuación:

$$C_{NaOH} = (2 \cdot f - m) \cdot 0,4 \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

C_{NaOH} : Concentración de Soda Cáustica en la muestra (% p/p)

m y f: Mililitros de HCl consumidos en las dos titulaciones realizadas

Adicionalmente, el valor de concentración de Soda Cáustica también fue verificado en el panel de operación del equipo, el cual muestra la conductividad de la solución, por lo que se empleó un conductímetro para determinar la conductividad de las muestras y así comparar el resultado con los valores registrados en el panel. Esto se efectuó con el objetivo de verificar que los conductímetros del sistema se encontraran calibrados.

Durante la circulación del desinfectante también se tomaron muestras, cuya concentración fue determinada en laboratorio mediante el siguiente procedimiento:

- Se tomaban 50 mL de la muestra de Oxonia y se depositaban en un matraz erlenmeyer.
- Se añadieron 25 mL de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) al 25 % p/p a las muestras.
- Posteriormente la muestra era titulada con Permanganato de Potasio ($KMnO_4$) 0,1 N, hasta que la solución tornara a color rosa.
- Seguidamente se agregaba una pequeña porción de Ioduro de Potasio (KI) en cristales y la muestra viraba a color azul.
- Se titulaba la muestra nuevamente con una solución de Tiosulfato de Sodio ($Na_2S_2O_3$) al 0,1 N hasta que la muestra se volviera incolora.

Los mililitros consumidos de Tiosulfato de Sodio equivalen a la concentración de Oxonia en % peso.

- (b) Temperatura de operación: Mediante la revisión constante del panel de operación del equipo, se verificó la temperatura a la que circulan cada una de las sustancias químicas (detergente y desinfectante).
- (c) Velocidades de flujo: El análisis de este parámetro, se llevó a cabo mediante el monitoreo del caudal de los fluidos en el panel de control. En los casos donde las velocidades de flujo se encontraron fuera de norma, fue necesario realizar los cálculos pertinentes para determinar si las condiciones de operación de la bomba empleada en el proceso eran las adecuadas. Estos cálculos se realizaron mediante un estudio hidráulico que consistió en el

seguimiento y medición de la red de tuberías correspondiente al sistema CIP de la línea de envasado PET, así como la respectiva contabilización de los accesorios pertenecientes al sistema, tomando en cuenta las caídas de presión originada por estos. Las pérdidas de presión se calcularon mediante el empleo de la Ecuación de General de Energía, la cual a su vez implica ecuaciones de factor de fricción y número de Reynolds para calcular las pérdidas de energía de los fluidos.

Además, se midieron los tiempos de operación de cada una de las etapas del sistema de Limpieza en Sitio (CIP), a fin de verificar el cumplimiento de los tiempos de limpieza establecidos por la empresa.

Finalmente, se realizaron comparaciones entre los valores obtenidos mediante el seguimiento a las variables (concentración, temperatura y velocidades de flujo) y los valores teóricos (puntos de control) establecidos por el Sistema de Gestión de Calidad. Para el análisis se implementó un control estadístico de calidad basado en la construcción de Diagramas Causa – Efecto, Diagramas de Pareto y Gráficos de Control. Con el análisis estadístico se logró identificar y analizar las causas que generaban el problema en el sistema, además de plantear posibles soluciones para el mismo.

En los casos en que se detectó la necesidad de modificar las variables del proceso, se plantearon propuestas para mejorar el comportamiento de estas variables. Estas propuestas fueron analizadas tomando en cuenta las normas establecidas por el Sistema de Gestión de Calidad (SGC) en la empresa y cumpliendo con las directrices establecidas por las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM).

3.3. DETERMINACIÓN DE LAS CANTIDADES ÓPTIMAS DE AGUA DE ENJUAGUE

Las soluciones químicas empleadas en el proceso de limpieza de las tuberías y equipos deben ser removidas en su totalidad para evitar que el producto se contamine con residuos de los mismos. La remoción de estas sustancias se alcanza mediante la circulación de agua de enjuague en el sistema. En función a esto, se determinaron las

cantidades de agua necesarias para eliminar los químicos en su totalidad. Para esto, se calculó el volumen total de la tubería y los equipos a limpiar durante el proceso CIP, a fin de determinar el valor teórico (óptimo) de agua requerida en cada enjuague. Además, se emplearon ecuaciones de Balance de Masa en el sistema para calcular el consumo de agua actual, con el fin de realizar comparaciones con el valor teórico determinado y generar un ahorro en el consumo del líquido.

3.4. DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LA SOLUCIÓN DETERGENTE EMPLEADA EN EL SISTEMA CIP

En esta etapa de la investigación se analizó la durabilidad de la solución detergente empleada actualmente en el sistema CIP, con la finalidad de determinar el número de veces que puede ser reutilizada sin apreciar una disminución en la eficiencia de la limpieza. Para realizar éste estudio, se analizaron cuatro parámetros físico-químicos que indican la existencia de alguna disminución en la eficiencia de limpieza de la solución. La medición de estos parámetros se realizó de manera continua, durante un período de tiempo que comenzó con la preparación de una solución de Soda Cáustica nueva en el sistema, y culminó cuando se determinó alguna disminución en las propiedades de limpieza de la solución.

La evaluación de cada una de las características físico-químicas se especifica a continuación:

- (a) Concentración de Soda Cáustica: Se tomaron muestras de la solución de Soda Cáustica antes y después de cada ciclo de limpieza. Posteriormente, se evaluó su concentración en el laboratorio, mediante titulación con Ácido Clorhídrico, siguiendo el procedimiento explicado anteriormente (ver sección 3.2).
- (b) Concentración de Carbonato de Sodio en la solución detergente: Para determinar la concentración de Carbonato de Sodio en la solución de Soda Cáustica se realiza el procedimiento explicado para titular Soda Cáustica (ver sección 3.2), y la concentración de Carbonato de Sodio (Na_2CO_3) se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$C_{\text{carbonato}} = 2 \cdot (m - f) \cdot 0,53 \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

$C_{\text{carbonato}}$: Concentración de carbonato de sodio en la muestra (% p/p)
 m y f: Mililitros de HCl consumidos en las dos titulaciones realizadas

Este análisis también fue realizado a muestras tomadas antes y después de realizar cada ciclo de limpieza.

- (c) Contenido de sólidos totales suspendidos en la solución detergente: Este procedimiento fue realizado a las muestras de Soda Cáustica tomadas al finalizar cada ciclo de limpieza. Para ello, las muestras fueron llevadas a laboratorio, en donde se realizó el filtrado de 10 mL de solución a través de un papel de filtro. El papel de filtro con el residuo fue sometido a secado en una estufa a una temperatura de 100 °C durante una hora y posteriormente fue pesado en una balanza. La diferencia de pesos (antes de filtrar la muestra y luego de filtrar y secar el papel) permitió obtener la cantidad total de sólidos en suspensión, mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$S_{TS} = \frac{(A-B) \cdot 1000 \cdot 1000}{V_M} \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

S_{TS} : sólidos totales suspendidos (mg/L)
 A: peso del residuo seco + filtro (g)
 B: peso del filtro (g)
 1000: factor, 1000 mg/g
 1000: factor, 1000 mL/L
 V_M : volumen empleado de la muestra (mL)

- (d) Apariencia de la solución detergente: Se evaluó la apariencia de las muestras del detergente mediante inspección visual. Este procedimiento es necesario, ya que no existe una norma en la empresa que establezca el valor máximo permitido de sólidos en suspensión presentes en la solución detergente, por

lo que la misma es descartada una vez que se considera visualmente que posee un alto contenido de sólidos.

Los resultados obtenidos para cada una de estas propiedades fueron evaluados mediante gráficas, a fin de determinar el comportamiento de la solución detergente a medida que es reutilizada en el sistema CIP. De esa forma, se pudo determinar el número de veces que puede ser re-emplazada en el proceso de limpieza.

Por otra parte, mediante este estudio se evaluó el consumo de detergente por CIP realizado y con esto los costos asociados.

3.5. IDENTIFICACIÓN DE UN NUEVO QUÍMICO DE LIMPIEZA QUE DISMINUYA COSTOS Y TIEMPOS DE OPERACIÓN

Se realizó una investigación sobre la existencia de químicos en el mercado que pueda sustituir a la Soda Cáustica, ofreciendo una reducción en cuanto a tiempos de aplicación y ahorro de costos, manteniendo los estándares microbiológicos y de calidad establecidos por la empresa. Para ello, se llevó a cabo una investigación, donde se analizaron y compararon los factores relacionados al desempeño de detergentes empleados en la industria cervecera.

Las propiedades a estudiadas para cada químico fueron:

- (a) Poder secuestrante
- (b) Capacidad de enjuague
- (c) Solubilidad en agua
- (d) Capacidad de suspensión
- (e) Poder emulsificante
- (f) Formación de espuma
- (g) Corrosión
- (h) Toxicidad
- (i) Temperatura de operación
- (j) Tiempo de contacto
- (k) Fuerza mecánica requerida

- (l) Concentración de operación
- (m) Costos
- (n) Factibilidad de empleo en la empresa

3.6. GENERACIÓN DE UN PLAN ESTRATÉGICO DE MEJORA OPERACIONAL DEL SISTEMA CIP

En función a los problemas detectados y al análisis realizado a los mismos, se desarrollaron una serie de propuestas a nivel de proceso para obtener una operación óptima que permita la reducción en el consumo de químicos y tiempos de operación del sistema CIP, tomando en cuenta costos, calidad, seguridad y Buenas Prácticas de Manufactura (BPM).

Las propuestas planteadas fueron evaluadas detalladamente, a fin de verificar la factibilidad de implementación en la empresa.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, de acuerdo a la metodología planteada, con la finalidad de llevar a cabo los objetivos expuestos.

4.1. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN ACTUALES DEL SISTEMA

Una vez adquirido el conocimiento del sistema y su funcionamiento mediante el procedimiento descrito en la sección 3.1, se analizaron cada una de las etapas del proceso de limpieza, a fin de verificar las condiciones de operación bajo las cuales se encontraba.

Básicamente, se realizó un seguimiento a las variables que influyen en el proceso, con la finalidad de determinar las posibles causas que podrían originar un aumento en el consumo de las sustancias de limpieza y cualquier discrepancia existente en el proceso con respecto a las normas establecidas en la empresa.

A continuación se presentan los resultados de dicho análisis, comenzando por el monitoreo realizado a cada uno de los parámetros de limpieza.

4.1.1. Monitoreo de los Parámetros de Limpieza

4.1.1.1. Concentración del Detergente

Anteriormente se mencionó la importancia de emplear las sustancias químicas a concentraciones adecuadas, que logren la remoción del sucio sin causar daños a los equipos por concentraciones elevadas que generarían corrosión. Debido a esto, la empresa estableció un rango en el cual debe mantenerse la concentración del detergente (soda cáustica) para evitar cualquier problema. El valor al que debe circular la soda cáustica durante la realización del CIP es de 1,5 % p/p, según lo

establecido en el Sistema de Gestión de Calidad de la empresa. Concentraciones menores a dicho valor, no garantizan una remoción adecuada del sucio, mientras que concentraciones más elevadas acarrearán mayores costos de operación, así como posibilidad de corrosión de los equipos a partir de 2,0 % p/p.

En la Figura N° 12, se puede apreciar el comportamiento de la concentración de Soda Cáustica entre los meses Junio-Octubre.

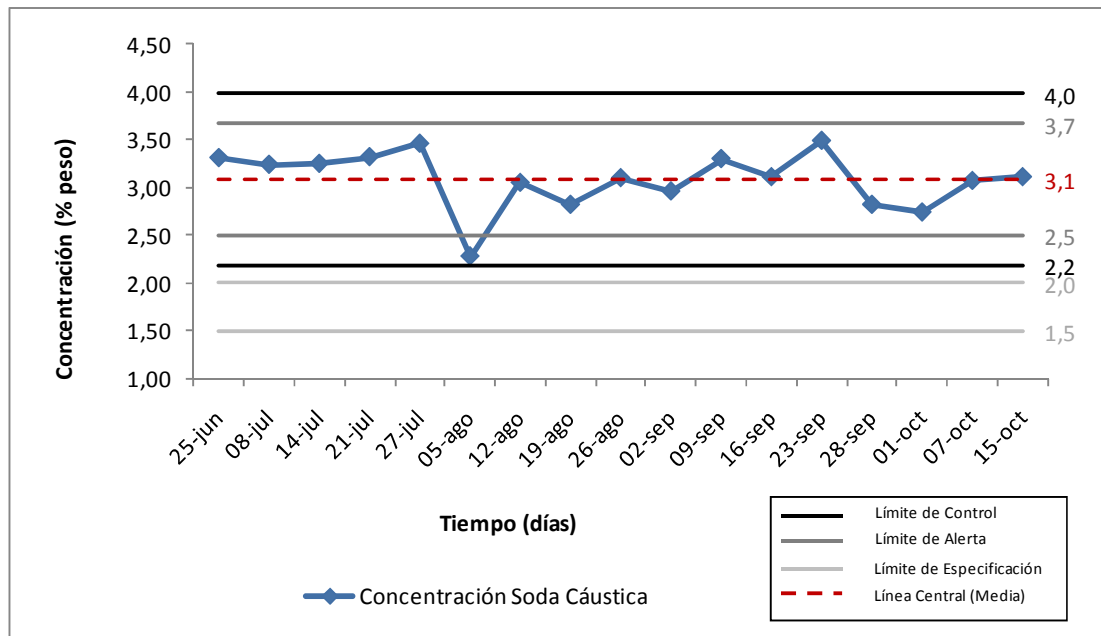


Figura N° 12. Comportamiento de la concentración de Soda Cáustica en función de los días de monitoreo.

En el gráfico se pueden observar tres rangos: el límite de especificación de la empresa (1,5 – 2,0) % p/p, el límite de alerta (2,5 – 3,7) % p/p y el límite de control calculado (2,2 – 4,0) % p/p. Analizando el gráfico de control en base a lo expuesto en la sección 2.4.1.2, se verifica que los datos no cumplen con ninguno de los tres estratos establecidos, por lo que podría afirmarse que la variable se encuentra bajo control estadístico, sin embargo, ninguno de los datos se encuentra dentro de los límites de especificación establecidos por la empresa, por lo que la variable se encuentra fuera de control. Cabe destacar que en este caso, existe riesgo de incurrir en

error de tipo II (ver sección 2.4.1.2), debido a que los datos se encuentran dentro de los límites de control.

Seguidamente se presenta la Tabla N° 4, donde se muestran los valores obtenidos para la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación de los datos recolectados.

Tabla N° 4. Media, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación de los datos recolectados para concentración de Soda Cáustica.

Media (\bar{x})	Desviación Estándar (SD)	Coeficiente de Variación (CV)
3,1 % p/p	0,3 % p/p	9,4 %

En la Tabla N° 4, se observa que el coeficiente de variación no excede el 10%, por lo que la variación de los datos no representa problemas de precisión, a pesar de que la concentración se encuentra fuera de control. Adicionalmente, el valor obtenido para la media fue de 3,1 % p/p, lo cual representa más del doble del valor establecido en la norma (1,5 % p/p), y también es mayor con respecto al límite máximo establecido para evitar corrosión en los equipos (2,0 % p/p). Esto representa un aumento considerable en el consumo de Soda Cáustica, además de riesgo originar daños de corrosión en los equipos, accesorios y gomas presentes en el sistema.

En tal sentido, se realizó un análisis al proceso de ajuste de concentración del detergente, el cual es realizado antes de cada ciclo de limpieza y tiene como función preparar la solución de Soda Cáustica a la concentración deseada (1,5 % p/p) mediante recirculación interna en la estación CIP, dosificando Soda Cáustica en caso de ser requerir ajustar la concentración. Para esto, el sistema posee un sistema de control que mide la conductividad de la solución mediante un conductímetro y posteriormente compara el valor con el *Set Point* del programa, el cual en este caso es 60 mS que equivalen a 1,5 % p/p de concentración.

Inicialmente se verificó si el *Set Point* del programa correspondía al valor establecido, sin embargo, éste se encontraba en 75 mS, que equivale a una concentración de 1,9 % p/p. En función a esto, se ajustó la conductividad del *Set*

Point a 60 mS según lo establecido en la norma, aún así, el valor al que se encontraba el *Set Point* (1,9 % p/p) no se corresponde con el resultado obtenido en la media de concentración de Soda Cáustica (ver Tabla N° 4), indicando la existencia de algún factor adicional que incide en el ajuste de concentración de la solución. Por lo tanto, se procedió a verificar si la calibración del conductímetro de la estación CIP era adecuada. Para verificar la calibración de este instrumento se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- (a) Se tomó una muestra de Soda Cáustica durante la realización de un CIP.
- (b) Se midió la conductividad de la muestra empleando un conductímetro en el laboratorio.
- (c) Se registró el valor reportado por el conductímetro del sistema CIP para esa concentración.
- (d) Se realizó la comparación entre el valor de conductividad determinado en el laboratorio y el valor reportado por el sistema CIP.

Los resultados obtenidos se pueden observar en la tabla que se presenta a continuación:

Tabla N° 5. Comparación entre la conductividad reportada por el sistema CIP y la determinada en laboratorio.

Conductividad Sistema CIP (mS)	Conductividad Prueba (mS)
119,5	118,6

Según se aprecia en la Tabla N° 5, el valor obtenido según la medición en laboratorio es muy cercano a la conductividad reportada por el conductímetro presente en el sistema CIP, y ambos valores corresponden a una concentración de 3,1% p/p, que equivale a la media calculada para la concentración. Por lo tanto, se puede concluir que el conductímetro del sistema se encontraba calibrado y el aumento de la concentración no era originado por esta causa.

La siguiente etapa realizada para determinar la causa de las altas concentraciones fue verificar el desarrollo de la fase de circulación de Soda Cáustica en el programa

que ejecuta el CIP. En esta etapa se evidenció que la bomba de dosificación de Soda Cáustica concentrada al 50 % p/p, suministraba el químico sin ser requerido por el sistema, ya que la solución se encontraba a la concentración establecida (1,5 % p/p) como consecuencia del proceso de ajuste de concentración.

Durante la limpieza con Soda Cáustica el programa debe cumplir con dos etapas, las cuales son:

- (a) Suministro de detergente: esta fase tiene como objetivo inundar la tubería y los equipos a limpiar con la solución de Soda Cáustica, de manera que el conductímetro ubicado en el retorno al CIP reporte la presencia del detergente en todo el circuito. Básicamente, esto se realiza para que el sistema alcance las condiciones de concentración y temperatura requeridas en el paso de Soda Cáustica antes de comenzar a descontar el tiempo de circulación de esta sustancia, y así garantizar las condiciones de limpieza. En la Figura N° 13, se puede entender mejor este proceso, el cual debe garantizar que la Soda Cáustica se traslade desde el tanque de Soda Cáustica hasta el punto “A”, donde se encuentra ubicado el conductímetro de retorno.

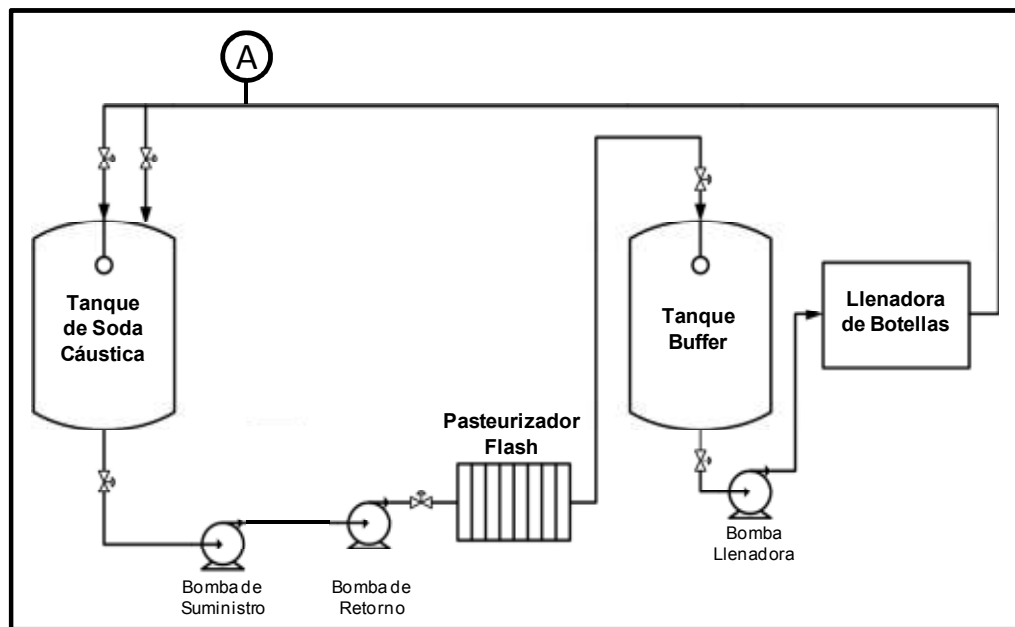


Figura N° 13. Recorrido de la Soda Cáustica en el CIP.

- (b) Circulación de detergente: es la etapa que inicia una vez que el sistema se encuentra completamente lleno con el detergente y las condiciones de concentración y temperatura son estables.

El problema se originaba en la fase de suministro, la cual no alcanzaba a llenar todo el sistema con el detergente hasta el punto “A”, por lo que la etapa de circulación iniciaba sin cumplir con todas las condiciones del proceso y el conductímetro al retorno del sistema registraba concentraciones bajas del detergente. Esto ocasionaba que el programa encendiera la bomba de dosificación de Soda Cáustica para aumentar la concentración del detergente, y por ello la variable se excedía del límite máximo establecido, aumentando su consumo.

Se logró solucionar el problema mediante la modificación del *Set Point* que indica el volumen de detergente requerido para inundar completamente el sistema. Este volumen no es más que el volumen de retención de todo el circuito por donde circulan las soluciones limpiadoras, y su cálculo se describe de forma detallada en la sección 4.2.1. El valor establecido en el *Set Point* del programa era igual a 500 L, mientras que el valor calculado en esta investigación fue igual a 6000 L.

El *Set Point* fue ajustado en base al valor calculado para disminuir la concentración de Soda Cáustica, y posteriormente se mantuvo el monitoreo de la variable, a fin de verificar su comportamiento en función a las modificaciones realizadas. En la Figura N° 14, se presentan los resultados de este monitoreo.

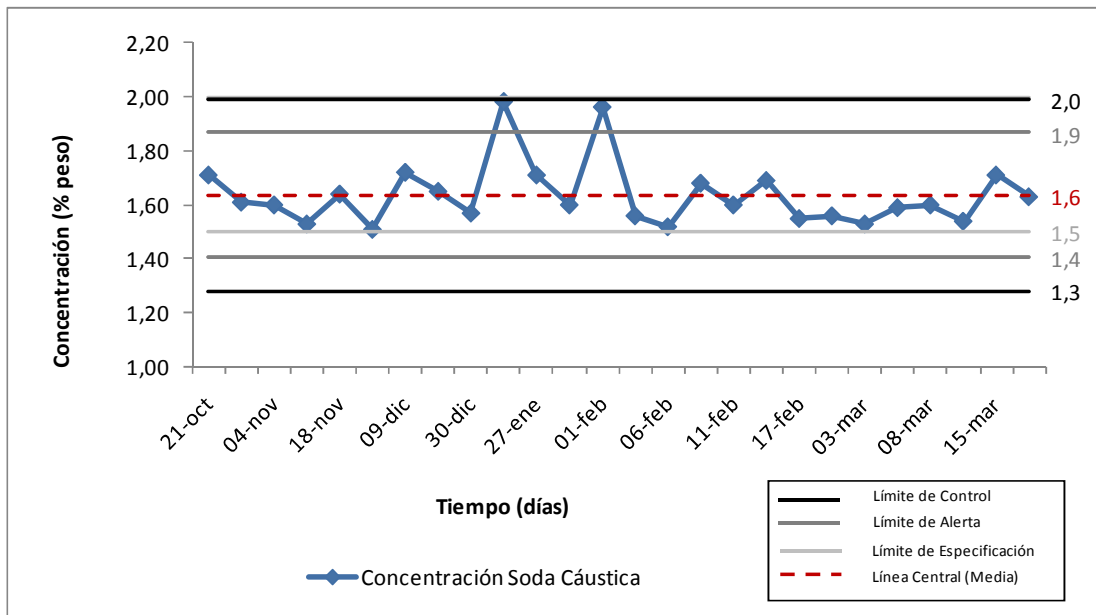


Figura N° 14. Comportamiento de la concentración de Soda Cáustica en función de los días de monitoreo luego de las modificaciones.

El comportamiento de los datos demuestra que los ajustes realizados en el sistema lograron la disminución de la concentración del detergente, ya que los mismos se encuentran dentro del límite de especificación establecido por la empresa. Adicionalmente, los datos se encuentran dentro de los límites de control y no cumplen con ninguno de los estratos indicativos de una condición fuera de control, por lo que se puede decir que la variable se encuentra bajo control estadístico. La Tabla N° 6, presenta los resultados obtenidos para la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación de los datos recolectados en esta etapa.

Tabla N° 6. Media, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación de los datos recolectados para concentración de Soda Cáustica luego de realizar modificaciones en el sistema.

Media (\bar{x})	Desviación Estándar (SD)	Coeficiente de Variación (CV)
1,6 % p/p	0,1 % p/p	7,0 %

La media obtenida para esta serie de datos fue de 1,6 % p/p y este valor se encuentra muy cerca de la norma establecida (1,5 % p/p). Por otra parte, el

coeficiente de variación disminuyó con respecto al anterior, demostrando que las modificaciones realizadas lograron una mejor homogenización de la solución detergente, por lo que los cambios de concentración en el proceso disminuyeron, y por tanto, se reduce la variabilidad. Estos factores indican que los ajustes realizados en el sistema fueron efectivos y permitieron una reducción en el consumo de Soda Cáustica, así como la prevención de originar problemas de corrosión en los equipos.

4.1.1.2. Concentración del Desinfectante

En el caso del desinfectante (Oxonia), el valor de concentración al que debe circular durante la realización del CIP es de 0,5 % p/p, según lo establecido en el Sistema de Gestión de Calidad de la empresa. No existe un límite de especificación que establezca el valor máximo al cual puede circular la Oxonia, sin embargo, según recomendaciones del Sistema de Gestión de Calidad, la concentración no debería exceder de 0,7 % p/p, a fin de evitar mayores costos de operación y posibilidad de corrosión del sistema.

Es imprescindible que la concentración de Oxonia no se encuentre por debajo de 0,5 % p/p, ya que de esa forma no se puede garantizar la efectividad de la destrucción de los microorganismos hasta los niveles requeridos y se estarían violando los principios establecidos en las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM).

En la Figura N° 15, se puede apreciar el comportamiento de la concentración de Oxonia entre los meses Junio-Octubre.

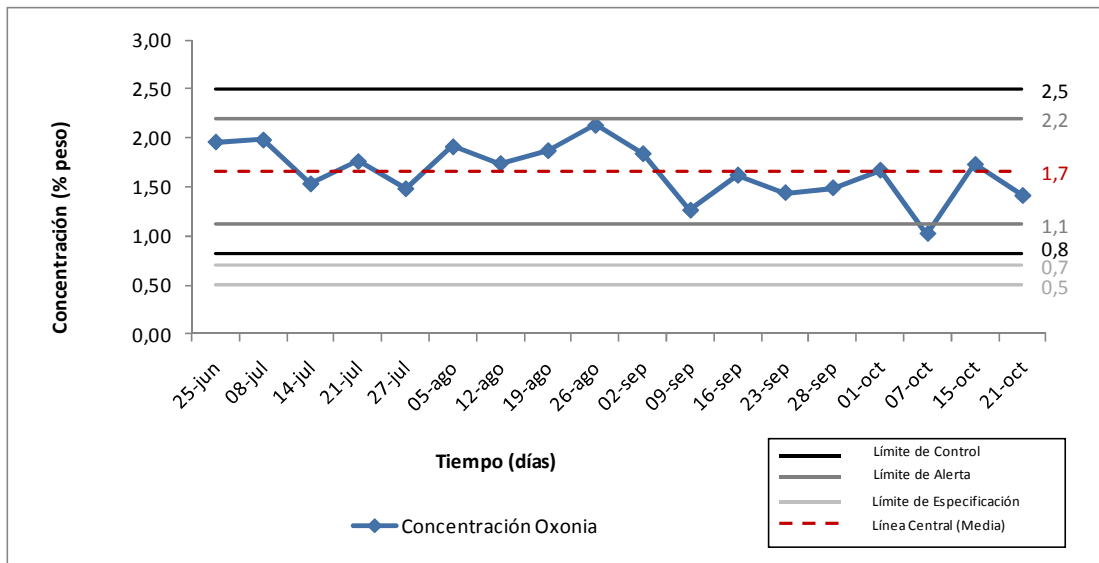


Figura N° 15. Comportamiento de la concentración de Oxonia en función de los días de monitoreo.

Al igual que en el caso de la concentración de Soda Cáustica, en el gráfico se puede observar que todos los datos se encuentran fuera del rango de especificación (0,5- 0,7)% p/p, por lo que el sistema no se encuentra bajo control estadístico. Nuevamente existen posibilidades de incurrir en error de tipo II, ya que los datos parecieran estar bajo control, debido a que no exceden los límites de alerta y control.

En la Tabla N° 7, se muestran los valores obtenidos para la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación de los datos recolectados, para obtener un mejor entendimiento del comportamiento de la variable.

Tabla N° 7. Media, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación de los datos recolectados para concentración de Oxonia.

Media (\bar{x})	Desviación Estándar (SD)	Coeficiente de Variación (CV)
1,7 % p/p	0,3 % p/p	16,4 %

Se puede apreciar que el coeficiente de variación es mayor al 10%, demostrando que el sistema posee problemas de variabilidad, que pueden atribuirse a la falta de homogenización de la solución desinfectante en el sistema. A diferencia del detergente, el desinfectante no posee una etapa de ajuste de concentración antes de

comenzar el CIP. En este caso, el desinfectante es dosificado al sistema en forma concentrada a medida que el agua está circulando dentro de la estación CIP, por lo que es difícil mantener una homogenización precisa, generando que la concentración varíe durante el proceso.

Por otra parte, en los resultados que se presentan en la Tabla N° 7, también se puede observar que la media tuvo un valor de 1,7 % p/p, que representa más del triple de la concentración establecida en la norma (0,5 % p/p) y por ende la existencia de un alto consumo del químico. En función a esto, se decidió verificar la calibración de la bomba dosificadora de Oxonia y así determinar si la misma estaba suministrando la cantidad adecuada de este químico.

Para esto, se calculó la cantidad de Oxonia al 50 % p/p que debía suministrar la bomba dosificadora al agua circulante para obtener una concentración de 0,5 % p/p en el sistema CIP. Es importante destacar que la dosificación de Oxonia se realiza directamente al sistema a medida que el agua se encuentra circulando dentro del mismo, por lo tanto, fue necesario realizar un balance de masa global y por componente (la Oxonia en este caso), para determinar el flujo de Oxonia que se requiere en función al flujo del sistema.

La Figura N° 16, esquematiza el balance de masa para la Oxonia en el sistema CIP, a fin de determinar el caudal al que debe trabajar la bomba dosificadora.

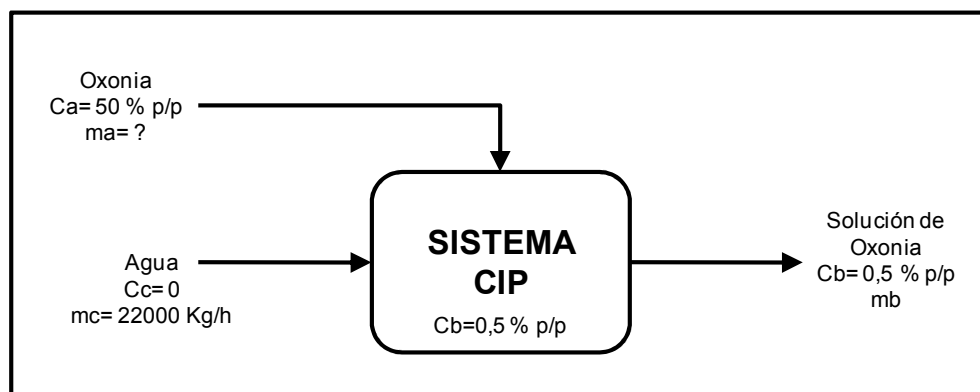


Figura N° 16. Balance de Masa para Determinar la Cantidad de Oxonia a Dosificar en el CIP.

Balance de masa global:

$$mb = ma + mc \quad (\text{Ec. 12})$$

Balance de masa para la Oxonia:

$$Ca.ma = Cb.mb \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde:

Ca: concentración de Oxonia del proveedor (% p/p)

Cb: concentración de Oxonia requerida en el CIP (% p/p)

ma: flujo de masa de Oxonia del proveedor requerido (Kg/h)

mb: flujo de masa del solución de Oxonia al 0,5 % p/p en el CIP (Kg/h)

mc: flujo de agua en el CIP (Kg/h)

Sabiendo que el flujo en el sistema CIP durante la etapa de circulación de Oxonia es igual a 22000 Kg/h (mc), y que la concentración a la que se encuentra la Oxonia inicialmente es 50 % p/p, se puede obtener el valor de “ma”, sustituyendo la ecuación 12 en la 13.

En base a lo expuesto anteriormente, se tiene que el flujo que debe suministrar la bomba dosificadora “ma” es igual a 222,2 Kg/h, que equivalen a 222,2 L/h, ya que la densidad se considera igual a la del agua, por tratarse de una solución diluida.

Una vez obtenido el flujo de Oxonia requerido, se procedió a verificar si la bomba se encontraba calibrada en función a este valor, sin embargo, el flujo que suministraba la bomba equivalía a 774,3 L/h de Oxonia al 50 % p/p, demostrando que la misma estaba descalibrada.

Posteriormente se ajustó el valor de dosificación en la bomba y se continuó con el monitoreo de la concentración para verificar su comportamiento en función a la modificación realizada. En la Figura N° 17, se presentan los resultados de seguimiento realizado.

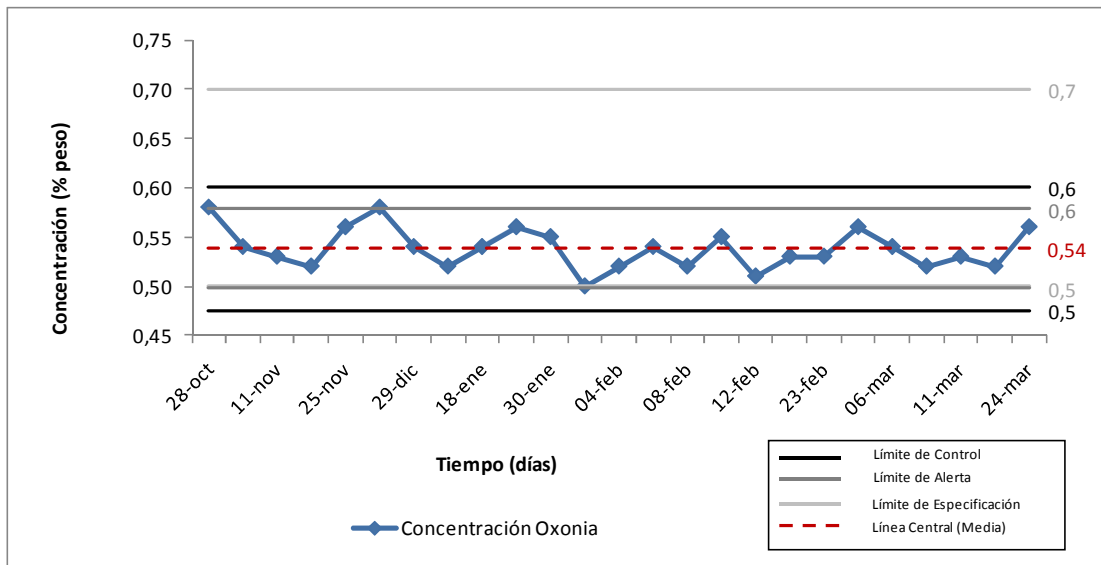


Figura N° 17. Comportamiento de la concentración de Oxonia en función de los días de monitoreo luego de modificaciones.

El comportamiento de la variable demuestra que los ajustes realizados a la bomba permitieron disminuir la concentración de Oxonia en el sistema, ya que todos los datos se encuentran dentro del límite de especificación establecido por la empresa. Además, los datos se encuentran dentro de los límites de alerta y control, por lo que se puede decir que la variable se encuentra bajo control estadístico. La Tabla N° 8, presenta los resultados obtenidos para la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación de los datos recolectados en esta etapa.

Tabla N° 8. Media, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación de los datos recolectados para concentración de Oxonia luego de realizar modificaciones en el sistema.

Media (\bar{x})	Desviación Estándar (SD)	Coeficiente de Variación (CV)
0,54 % p/p	0,02 % p/p	3,75 %

En este caso, la media obtenida fue de 0,54 % p/p, valor que se encuentra muy cerca de la norma establecida (0,5 % p/p). Por otra parte, el coeficiente de variación es menor al 5%, por lo que la concentración no presenta problemas de variabilidad

considerables. Estos resultados indican que la calibración de la bomba dosificadora generó una reducción en el consumo del desinfectante.

4.1.1.3. Temperatura de Operación del Detergente

En esta etapa se realizó un seguimiento a la temperatura a la que circula la Soda Cáustica, mediante la revisión constante de los valores reportados en el panel de control del sistema.

Según el Sistema de Gestión de Calidad de la empresa, la Soda Cáustica debe circular a temperaturas comprendidas entre el rango de (72-82) °C. La temperatura nunca debe exceder de los 82 °C, ya que a partir de este valor el detergente comienza a ser inestable, lo que podría conllevar a la adhesión de este a la superficie a limpiar, produciendo el efecto de cristalización.

En la Figura N° 18, se presenta el comportamiento de la temperatura de circulación de Soda Cáustica en el CIP en función a los días de monitoreo.

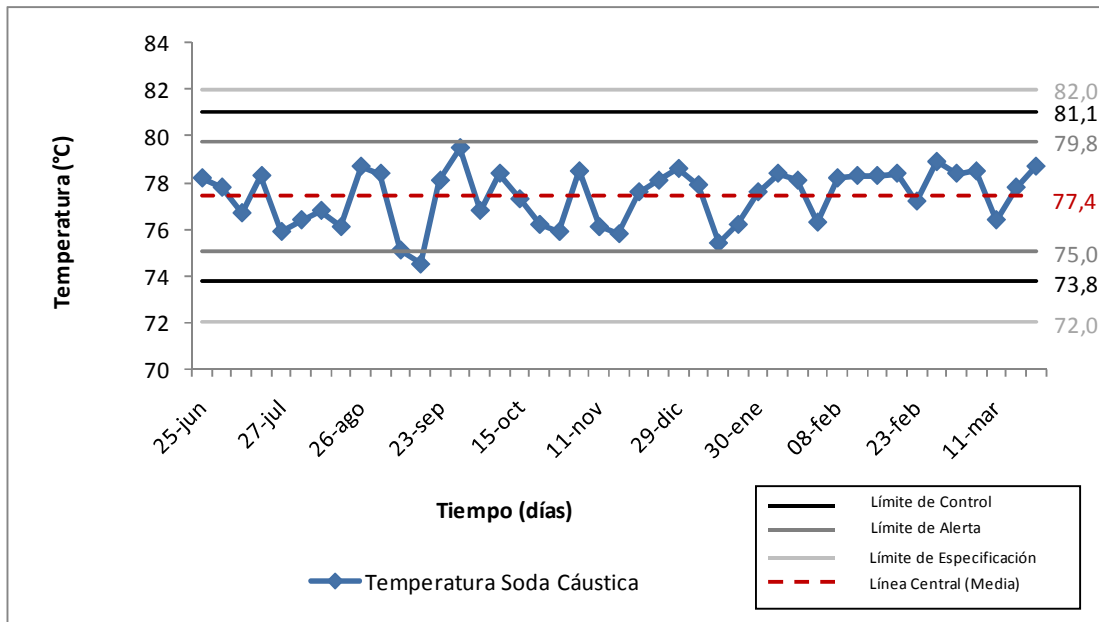


Figura N° 18. Comportamiento de la Temperatura de Soda Cáustica en función de los días de monitoreo.

En el gráfico se puede observar que los datos se encuentran dentro de los tres rangos ya mencionados. Además, los datos no cumplen con ninguno de los estratos

indicativos de una condición fuera de control, lo que demuestra que la variable se encuentra bajo control estadístico.

Para verificar los datos, se presentan los valores de la media, desviación estándar y coeficiente de variación en la Tabla N° 9.

Tabla N° 9. Media, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación de los datos recolectados para la temperatura de circulación de Soda Cáustica.

Media (\bar{x})	Desviación Estándar (SD)	Coeficiente de Variación (CV)
77,4 °C	1,2 °C	1,5 %

En la Tabla N° 9, se observa que el coeficiente de variación es muy bajo (menor al 5%), por lo tanto se puede afirmar que la variabilidad de los datos no es representativa. Adicionalmente, la media de los datos es de 77,4 °C, lo que indica que la temperatura se encuentra dentro de la norma y por lo mismo, no existen problemas con respecto al control de esta variable.

4.1.1.4. Temperatura de Operación del Desinfectante

La temperatura de circulación del desinfectante es tan importante como la temperatura a la que circula el detergente. Las altas temperaturas favorecen y aceleran el proceso de desinfección de la Oxonia reduciendo el tiempo de acción requerido, sin embargo, la temperatura no puede exceder los 40 °C, ya que a partir de entonces la mezcla de ácido peracético y peróxido de hidrógeno se vuelve inestable, evitando que el químico mantenga su capacidad desinfectante. Teniendo en cuenta esto, el Sistema de Gestión de Calidad, estableció el límite de especificación de esta variable en el rango comprendido entre (20-40) °C. A pesar de que temperaturas menores a 20 °C no afectan la acción desinfectante del químico, si generan un aumento del tiempo de circulación necesario para realizar la desinfección, y por tanto, una disminución en la productividad de la empresa.

Los resultados obtenidos con el seguimiento de esta variable se presentan en la Figura N° 19.

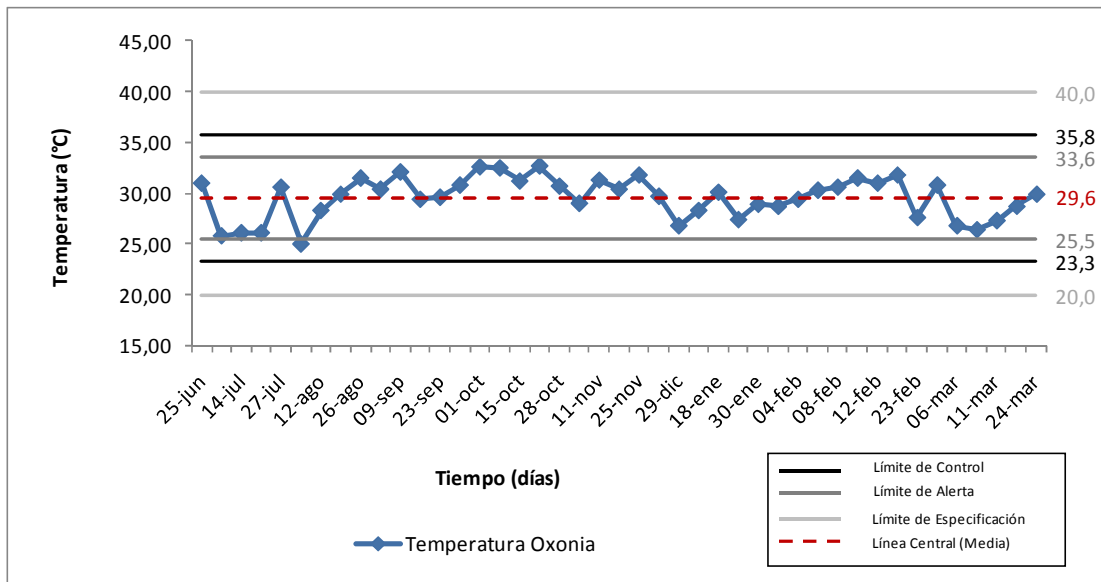


Figura N° 19. Comportamiento de la Temperatura de Oxonia en función de los días de monitoreo.

Analizando el comportamiento de la variable se aprecia que los datos se encuentran dentro de los límites de especificación, alerta y control. Estos datos no cumplen con ninguno de los estratos indicativos de una condición fuera de control, así que nuevamente se puede afirmar que la variable se encuentra bajo control estadístico. Esta conclusión se puede comprobar mediante el análisis de los datos que se muestran en Tabla N° 10.

Tabla N° 10. Media, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación de los datos recolectados para la temperatura de circulación de Oxonia.

Media (\bar{x})	Desviación Estándar (SD)	Coeficiente de Variación (CV)
29,6 °C	2,0 °C	6,8 %

La media obtenida en esta serie de datos tiene un valor de 29,6 °C, demostrando que la temperatura permanece dentro del rango de especificación. Además, el coeficiente de variación es igual a 6,8 %, por lo que la temperatura presenta cierta variación, la cual se puede atribuir a los cambios en la temperatura del ambiente. A

pesar de esto, la variación se encuentra por debajo de 10 %, por lo que no representa un problema en el control de la temperatura en el sistema.

4.1.1.5. Velocidades de Operación

En esta etapa se realizó un seguimiento a las velocidades de flujo a las que circulan las soluciones de limpieza durante el CIP.

La norma para el CIP se rige por las recomendaciones internacionales. Por encima de 1,5 m/s el flujo en soluciones acuosas cambia de laminar (muy poco efecto mecánico) a turbulento (buen efecto mecánico) en cualquier tubería. Por esta razón, la norma para limpieza en tuberías en Cervecerías Polar es de 2 m/s. En excepciones se pueden manejar caudales inferiores a 2 m/s, pero bajo ninguna circunstancia los caudales deben ser inferiores a 1,5 m/s. Se sobreentiende que en casos de tuberías de diferentes diámetros la velocidad recomendada se debe lograr en el diámetro mayor.

En tal sentido, se mantuvo un monitoreo de los flujos de circulación a lo largo de todo el sistema, mediante la revisión constante de los valores reportados en el panel de control del sistema. Las velocidades correspondientes a los flujos registrados fueron calculadas mediante la siguiente ecuación:

$$v = \frac{Q}{A} * \frac{1}{3600} \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde:

v : velocidad de flujo (m/s)

Q : Flujo de la solución en el sistema (m³/h)

A : Área transversal de la tubería (m²)

1/3600: factor de conversión de horas a segundos (1/s)

Se debe destacar que el circuito de la línea de envasado PET posee 3 diámetros diferentes, los cuales son 65 mm, 80 mm y 100 mm. La tubería de diámetro igual a 65mm corresponde al circuito interno por donde se realiza el CIP en la línea de envasado, sin embargo, este CIP también realiza la limpieza de la tubería que envía el producto desde el área de elaboración de la planta hasta la línea PET. Por lo tanto,

existe una tubería que suministra las soluciones de limpieza hacia el área de elaboración con un diámetro de 100 mm y una tubería que retorna la solución limpiadora, cuyo diámetro es de 80 mm. De ahora en adelante estas 3 diferentes tuberías serán denominadas “tubería interna”, “tubería de suministro” y “tubería de retorno”, respectivamente.

En la Figura N° 20, se puede apreciar el comportamiento de la velocidad de flujo dentro de la tubería interna del CIP.

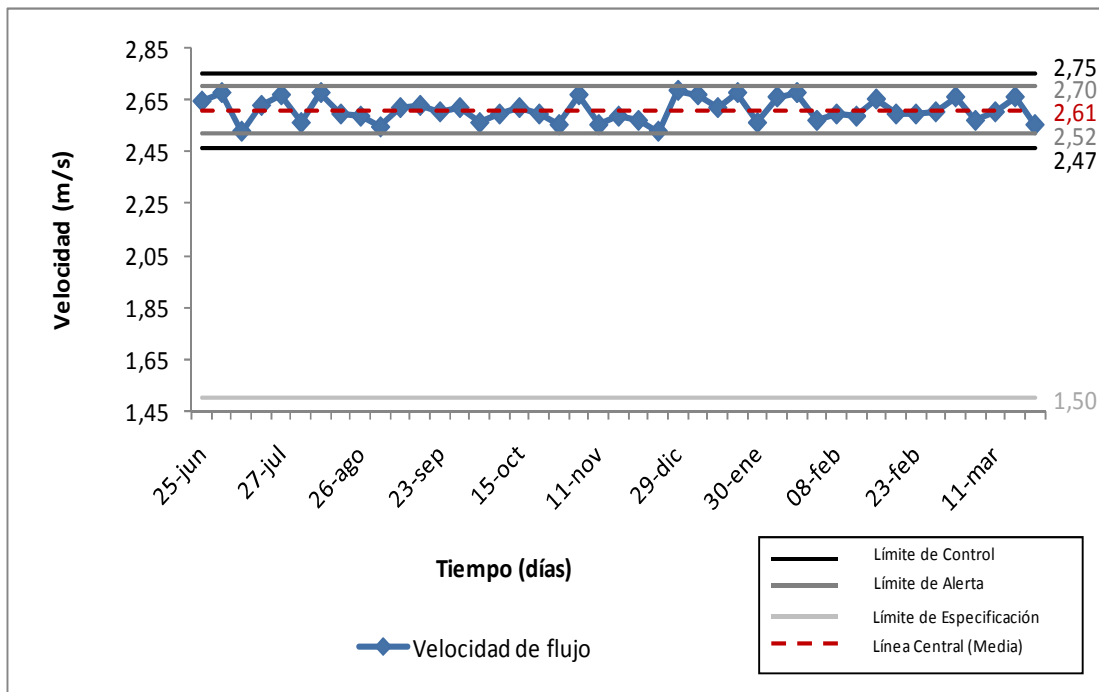


Figura N° 20. Comportamiento de la Velocidad de Flujo en tuberías de 65 mm de diámetro en función de los días de monitoreo.

La Figura N° 20 permite verificar que la velocidad se encuentra dentro de los límites de especificación (1,5- 4,0) m/s, así como dentro de los límites de alerta y control, por lo que la variable se encuentra bajo control estadístico. Igualmente, la velocidad de flujo en la tubería de retorno (80 mm) también se encuentra bajo control estadístico, ya que la variable permanece dentro de los límites de especificación, de alerta y control, según se observa en la Figura N° 21.

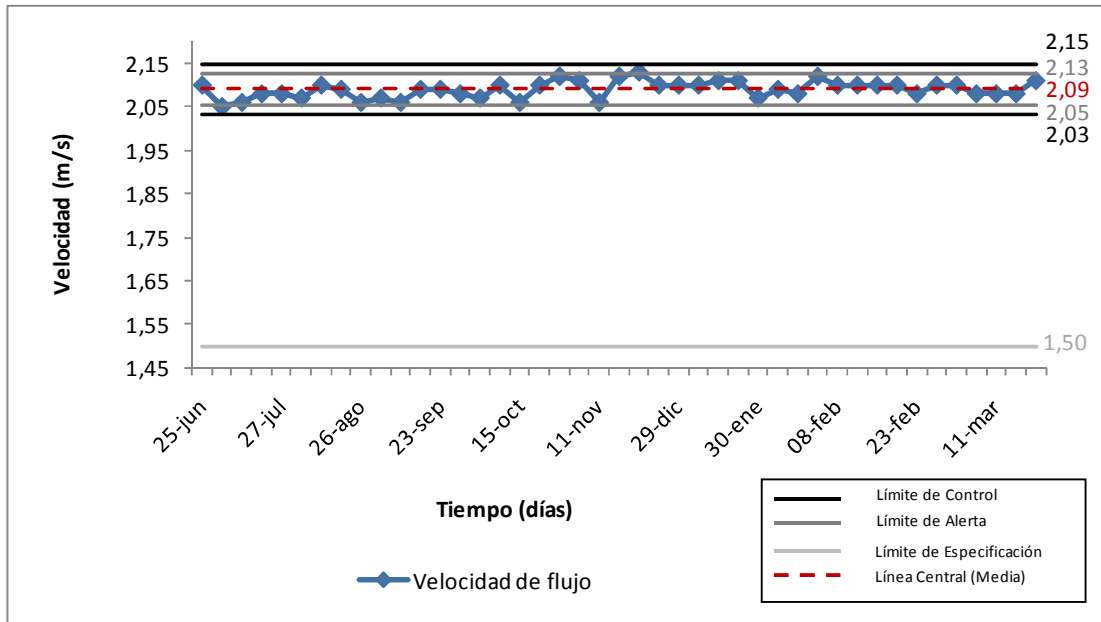


Figura N° 21. Comportamiento de la Velocidad de Flujo en tuberías de 80 mm de diámetro en función de los días de monitoreo.

En la Figura N° 22, se puede observar el comportamiento de la velocidad de flujo en la tubería de suministro del CIP.

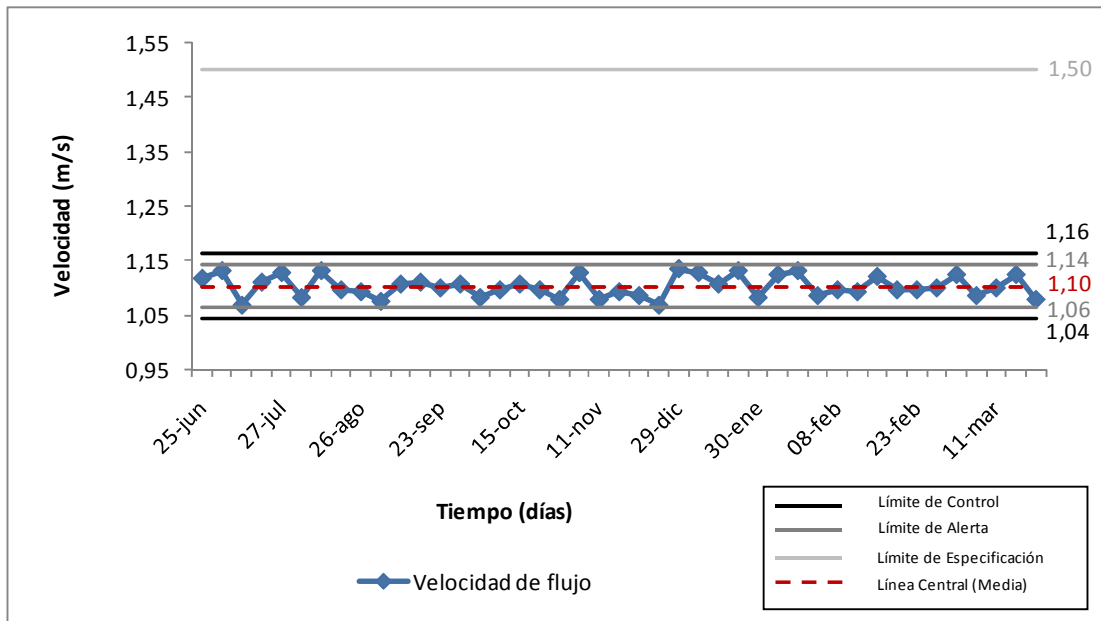


Figura N° 22. Comportamiento de la Velocidad de Flujo en tuberías de 100 mm de diámetro en función de los días de monitoreo.

Se debe resaltar que las velocidades de flujo de la tubería interna y la tubería de suministro se encuentran relacionadas según el principio de Continuidad de Fluidos, ya que las mismas se encuentran unidas y no existe ninguna bomba entre ambas. En el caso de la tubería de retorno, éste principio no se puede aplicar ya que antes del cambio de diámetro a 80 mm está instalada la bomba de retorno.

Tomando en cuenta lo anterior, se tiene que el comportamiento de la velocidad de flujo en la tubería de interna es el mismo comportamiento que el de la tubería de suministro, lo cual se puede apreciar en las gráficas N° 20 y 22.

A pesar de que ambas velocidades presentan el mismo comportamiento, la velocidad de flujo en la tubería de suministro se encuentra por debajo de los límites de especificación. Además, para esta variable existe la posibilidad de incurrir en error de tipo II, ya que los datos parecieran estar bajo control, puesto que no exceden los límites de alerta y control.

Se presumió que la razón de que la velocidad sea apropiada en la tubería interna más no en la de suministro, es que la bomba no se encuentra operando a la capacidad requerida, o no posee la capacidad necesaria para cubrir las especificaciones del sistema. Aún así, es importante resaltar que la función de la tubería de suministro es enviar los fluidos de limpieza a la tubería de retorno para limpiarla, ya que dicha tubería es la que envía el producto hacia la línea de envasado. Por lo tanto, la tubería de suministro no tiene contacto con el producto y el efecto mecánico requerido es menor que en el caso de las otras tuberías.

Cabe destacar que en las Figuras N° 20, 21 y 22, el límite de especificación mayor (4,0 m/s) no se encuentra en las gráficas para permitir analizar el comportamiento de las mismas, ya que la escala del gráfico no permitía visualizar adecuadamente la variable si el valor era incluido en la representación.

En la Tabla N° 11, se muestran los valores obtenidos para la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación de los datos recolectados para los diámetros de tubería presentes en el sistema.

Tabla N° 11. Media, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación de los datos recolectados para la Velocidad de Operación.

Diámetro de la Tubería	Media (\bar{x})	Desviación Estándar (SD)	Coeficiente de Variación (CV)
65 mm	2,6 m/s	0,02 m/s	1,76 %
80 mm	2,1 m/s	0,02 m/s	0,91 %
100 mm	1,1 m/s	0,02 m/s	1,76 %

Como se puede observar, la media de las velocidades cumple la norma establecida en el caso de los diámetros de 65 mm y 80 mm. No obstante, la media de velocidad para el diámetro de 100 mm es de 1,1 m/s e incumple la especificación, según lo explicado anteriormente. Adicionalmente, el coeficiente de variación es menor al 5%, por lo que la velocidad de flujo no presenta problemas de variabilidad considerables en el sistema.

En resumen, se puede decir que el sistema no presenta problemas en cuanto al cumplimiento de las velocidades de operación, sin embargo, sería recomendable alcanzar el límite de especificación mínimo (1,5 m/s) en el caso de la tubería de suministro, a fin de evitar que se genere algún depósito de suciedad que haya podido ser arrastrada por las soluciones de limpieza. En tal sentido, se verificó si la bomba que controla el caudal para ese tramo, posee las características requeridas para cumplir con dicha especificación.

Para ello, se empleó la Ecuación General de Energía para determinar la curva característica del sistema y posteriormente compararla con la curva característica de la bomba, de manera de poder hallar el punto de operación de la misma.

Seguidamente se muestra un esquema donde se detallan los puntos entre los cuales se realizó el estudio.

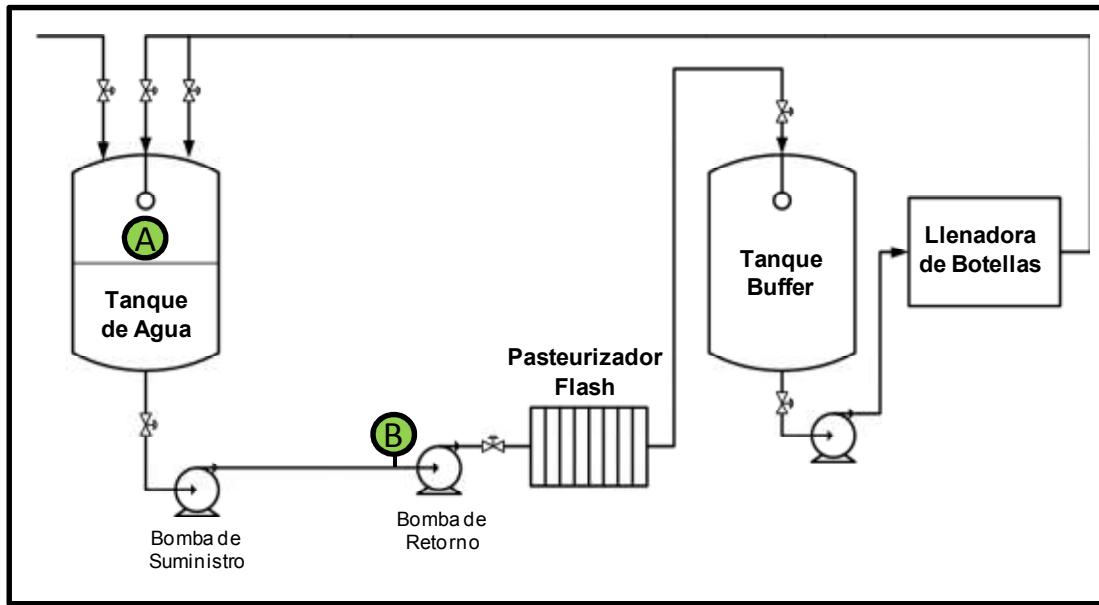


Figura N° 23. Puntos tomados en cuenta en la Ecuación General de Energía.

La ecuación mediante la cual se obtuvo la curva característica del sistema se muestra a continuación:

$$H_{bomba} = \frac{P_B - P_A}{\rho \cdot g} + \Delta Z_{AB} + \frac{v_B^2 - v_A^2}{2 \cdot g} + h_{f_{A \rightarrow B}} \quad (\text{Ec. 15})$$

Donde:

P_A : Presión en el punto "A" (Pa)

P_B : Presión en el punto "B" (Pa)

v_A : velocidad del fluido en el punto "A" (m/s)

v_B : velocidad del fluido en el punto "B" (m/s)

ΔZ_{AB} : diferencia de alturas entre los puntos "A" y "B" (m)

$h_{f_{A \rightarrow B}}$: pérdidas de energía del sistema por fricción y accesorios (m)

g : aceleración de la gravedad (m/s^2)

ρ : densidad del fluido (Kg/m^3)

Tomando en cuenta que el punto "A" se encuentra en la superficie del fluido en el tanque, se consideró que la velocidad de vaciado era despreciable. Por lo que la curva del sistema se elaboró mediante el cálculo del cabezal de la bomba para diferentes valores de " v_B ".

La bomba empleada en el sistema es de tipo centrífuga y de velocidad variable, por lo que el gráfico del fabricante muestra las curvas características de la bomba en función a las velocidades a las que puede operar la bomba. En la Figura N° 24, se muestra la curva obtenida del sistema, y se realizan las comparaciones con la curva característica de la bomba según el fabricante.

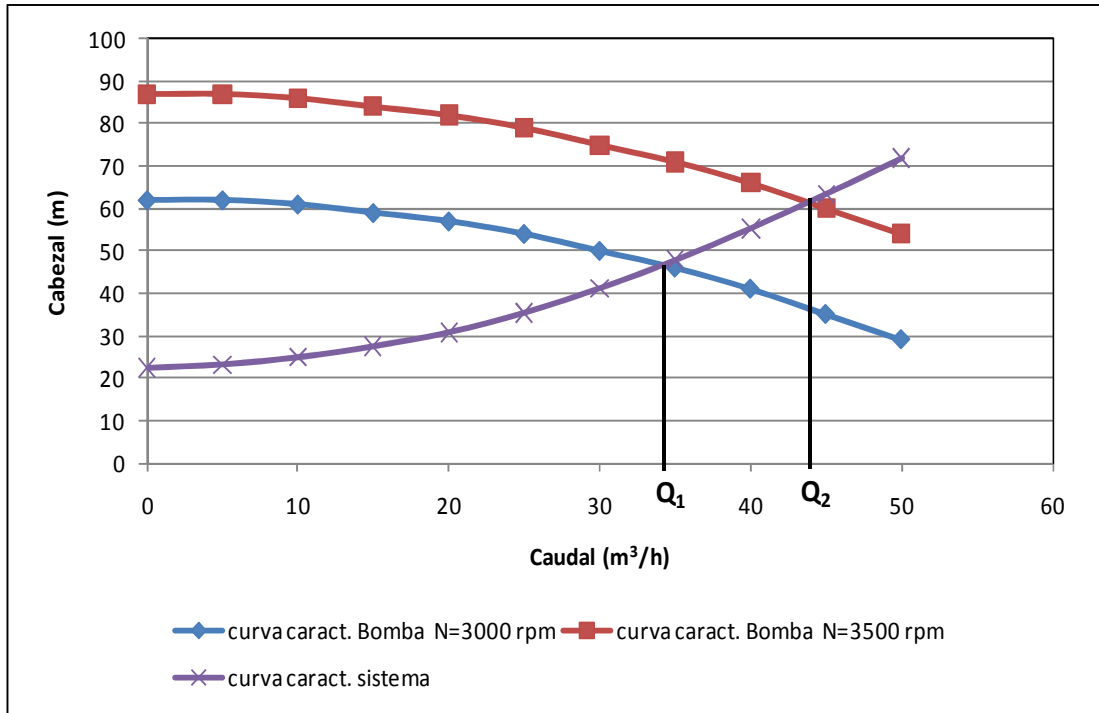


Figura N° 24. Curva característica de la bomba (según el fabricante) en relación a la curva característica del sistema.

Al observar el gráfico se puede apreciar que el punto de operación de la bomba operando a una velocidad de 3000 rpm, es aproximadamente igual a $34 \text{ m}^3/\text{h}$, el cual es el valor al que opera la bomba actualmente. En caso de que la velocidad de la bomba se aumente a 3500 rpm, el punto de operación sería de aproximadamente $44 \text{ m}^3/\text{h}$, que equivale a $1,56 \text{ m/s}$ de velocidad de flujo para una tubería de 100 mm. Por lo tanto, es recomendable aumentar la velocidad de la bomba, a fin de garantizar las velocidades mínimas de flujo a lo largo de todo el tramo de tuberías.

4.1.1.5. Tiempos de Operación

En esta sección se midió la duración de cada una de las etapas del CIP, para comprobar si las mismas cumplían con los tiempos establecidos en el Sistema de Gestión de Calidad de la empresa.

Como se explicó en la sección 4.1.1.1, la circulación de Soda Cáustica posee una etapa previa, en la que se suministra el detergente con la finalidad de inundar el sistema y alcanzar las condiciones de temperatura y concentración deseadas. Esta etapa previa también se efectúa para cada una de las sustancias limpiadoras del CIP, por tanto, la investigación también involucró la medición de estas fases, de manera de determinar si los tiempos favorecían el proceso de limpieza.

Los resultados de las mediciones pueden ser observados en la tabla que se presenta a continuación:

Tabla N° 12. Tiempos de operación medidos para cada etapa del CIP.

Etapa del CIP	Tiempo Establecido (min)	Tiempo Medido (min)
Barrido con Aire	5	5
Suministro Agua de Enjuague 1	No establecido	2
Agua de Enjuague 1	13	22
Suministro Soda Cáustica	No establecido	13 - 19
Circulación Soda Cáustica	20	19
Suministro Agua de Enjuague 2	No establecido	13 - 16
Agua de Enjuague 2	10	10
Suministro Oxonia	No establecido	17
Circulación Oxonia	26	5
Suministro Agua de Enjuague 3	No establecido	16
Agua de Enjuague 3	10	10

En la Tabla N° 12, se puede observar que las fases de suministro de cada una de las sustancias no poseen un valor establecido, ya que el mismo depende de las condiciones de cada etapa en particular. Esto se explicará con mayor detalle en la

discusión de los tiempos obtenidos para cada una de las etapas, la cual se presenta a continuación:

(a) Barrido con Aire:

En esta etapa o paso se realiza un barrido con aire a través de todos los equipos y tuberías que se desean limpiar, con el fin de remover cualquier residuo de dióxido de carbono presente en el sistema.

El tiempo recomendado para realizar el barrido es de mínimo 5 minutos, para lograr la remoción total del dióxido de carbono. Según la medición realizada, este tiempo se cumple, por lo que el sistema no presenta inconvenientes en esta fase.

(b) Suministro del Agua de Enjuague Inicial:

Durante las fases de suministro del CIP se busca alcanzar las condiciones a las que deberá circular la sustancia de limpieza empleada en cada etapa en específico. En el caso del agua de enjuague inicial, no se debe cumplir con ninguna condición de temperatura o concentración, ya que el objetivo de esta etapa es realizar el barrido de la suciedad. Por lo tanto, la etapa de suministro no es indispensable en este caso, puesto que la fase de circulación de agua no se encuentra sujeta a condiciones. En tal sentido, se sugirió a la empresa prescindir de los dos minutos de duración actuales de la fase de suministro, y unir esta etapa con la circulación de agua, a fin de disminuir el tiempo de operación del proceso.

(c) Circulación del Agua de Enjuague Inicial:

El primer enjuague con agua es de suma importancia ya que se encarga de eliminar la suciedad más gruesa para evitar contaminar la solución detergente. La empresa estableció que la duración de este enjuague no debe ser mayor al tiempo correspondiente a una vuelta del circuito, lo que equivale a 13 minutos.

Luego de realizar la medición del tiempo para esta fase, se obtuvo como resultado una duración de 22 minutos, lo que representa un exceso de 9 minutos de duración en esta etapa y un aumento considerable en el consumo de agua. Por lo

tanto, se recomendó a la empresa disminuir éste tiempo al equivalente a una vuelta del circuito, es decir, a 13 minutos.

(d) Suministro de Soda Cáustica:

La función de este paso es inundar el circuito con la solución de Soda Cáustica, de manera que se cumplan con las condiciones de temperatura y concentración establecidas. El paso no tiene un tiempo determinado ya que el fin del mismo depende del cumplimiento de dichas condiciones, por lo que puede haber variaciones de su duración entre un CIP y otro, las cuales podrían ser ocasionadas, por ejemplo, debido a variaciones en la temperatura ambiental.

Como se puede observar en la Tabla N° 12, la duración de esta etapa oscila entre los 13 minutos requeridos para inundar el circuito y 19 minutos. Esta variación radica en los diferentes tiempos a los que suelen alcanzarse las condiciones ya mencionadas.

(e) Circulación de Soda Cáustica:

El detergente debe ser recirculado a lo largo del circuito durante 20 minutos una vez que se cumplen las condiciones de concentración y temperatura, en base a lo establecido en el Sistema de Gestión de Calidad de la empresa. En la Tabla N° 12, se puede observar que la duración de esta fase no se está cumpliendo, ya que el tiempo medido fue de 19 minutos, por tanto, es necesario aumentar el tiempo de circulación en un minuto para cumplir con el valor estándar de la empresa. Este caso fue discutido en la empresa y el tiempo de circulación fue aumentado al valor establecido.

(f) Suministro del Agua de Enjuague Intermedio:

Esta etapa se realiza con el propósito de recuperar la solución de Soda Cáustica al tanque de almacenamiento, así como también cumplir con las condiciones de temperatura y concentración.

Al igual que en la etapa de suministro de Soda Cáustica, ésta fase no tiene un tiempo de duración determinado, ya que el tiempo requerido para bajar la

concentración de la solución alcalina y la temperatura puede variar debido a diferentes factores. En la Tabla N° 12, se aprecia que la duración de esta etapa oscila entre los 13 y 16 minutos.

(g) Circulación del Agua de Enjuague Intermedio:

Para esta etapa el valor medido coincide con el valor establecido por la empresa, por lo que no es necesario llevar a cabo ninguna modificación de la misma. Sin embargo, es importante resaltar que ésta etapa y la anterior (suministro del agua de enjuague intermedio) cumplen con la misma función, que es lograr las condiciones de temperatura y concentración requeridas para dar paso a la desinfección. En función a esto, se efectuó un monitoreo de este tiempo a lo largo de la investigación, a fin de determinar el tiempo que tardaba el sistema en alcanzar dichas condiciones.

Para ello, se realizó una gráfica que indica el minuto en que la etapa cumplía con las condiciones exigidas en función al número de procesos CIP monitoreados. En la Figura N° 25, se pueden apreciar los resultados.

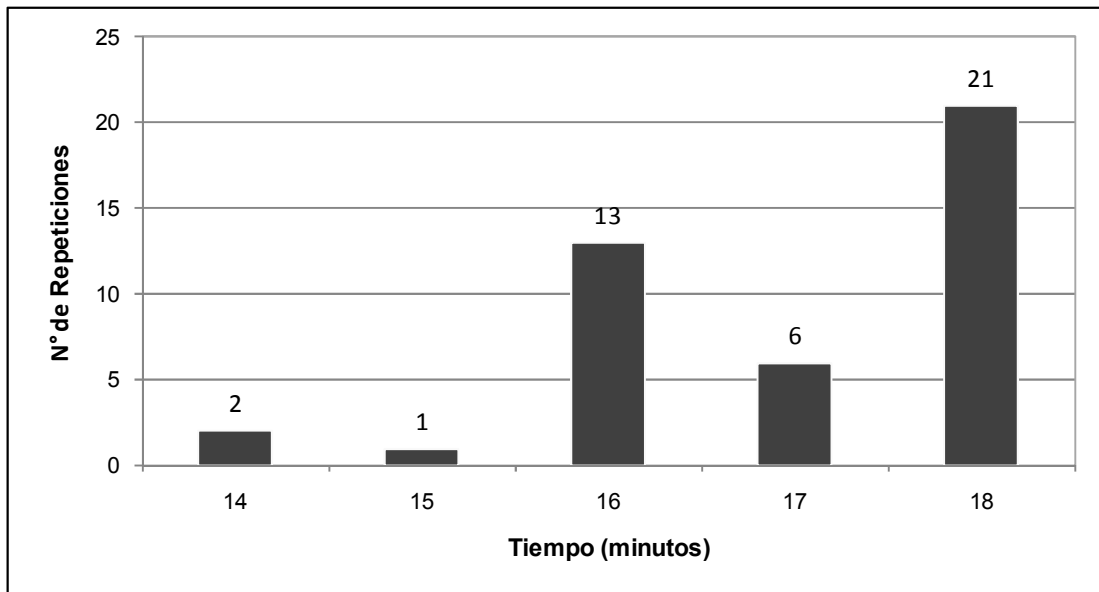


Figura N° 25. Demora del CIP en alcanzar condiciones de temperatura y concentración en el enjuague de agua intermedio.

La gráfica muestra que para los 43 ciclos de limpieza monitoreados, el rango en que se cumplían las condiciones de la etapa estaba comprendido entre los 14 y 18

minutos. En ninguna oportunidad se presentó un caso en que se cumplieran las condiciones luego de 18 minutos, por lo que se puede afirmar que este es debería ser el tiempo límite de duración para el enjuague intermedio de agua. También se puede observar que este valor es el que se repite más a menudo (21 veces), lo que comprueba que el enjuague puede tener esa duración.

En la Tabla N° 12, se aprecia que la suma de los tiempos de las etapas de suministro y circulación del agua del enjuague intermedio puede ser de hasta 26 minutos. Al comparar ese valor con los 18 minutos en los que se cumplen las condiciones, se demuestra que estas etapas tienen una duración mayor a la necesaria, y por tanto, se recomienda disminuir el tiempo a 18 minutos entre ambas fases.

(h) Suministro de Oxonia:

El tiempo de suministro de Oxonia no se encuentra establecido por la empresa. En este caso, la condición de temperatura se logra durante la etapa de circulación del enjuague intermedio de agua. Esta condición establece que la temperatura del sistema no debe ser mayor a 40 °C al momento de dosificar Oxonia, puesto que temperaturas mayores a esa causarían la degradación molecular del químico. Debido a esto, se realiza el enjuague intermedio de agua, el cual permite la disminución de la temperatura luego del paso de circulación de Soda Cáustica.

A su vez, la concentración de Oxonia se logra de manera inmediata en el sistema, ya que la bomba dosificadora suministra la cantidad requerida para cada diferencial de flujo del proceso. Por lo tanto, una vez que comienza a dosificarse Oxonia, significa que ya se cumplen todas las condiciones esperadas, con lo cual la fase de suministro de desinfectante puede considerarse innecesaria.

El tiempo medido para esta etapa del proceso fue de 17 minutos, lo cual es considerablemente alto, tomando en cuenta que este paso no es indispensable para realizar la desinfección.

(i) Circulación de Oxonia:

En el caso del desinfectante es sumamente importante garantizar que el tiempo de contacto con las superficies a limpiar sea suficiente para que el químico alcance todos los puntos muertos de los equipos, y logre disminuir la carga microbiológica hasta los valores deseados. Para esto, es necesario que el tiempo de dosificación de desinfectante equivalga a 2 vueltas del circuito a limpiar, que en este caso serían 26 minutos.

Según la medición, el tiempo de circulación de Oxonia es de 5 minutos, sin embargo, si se añaden los 17 minutos de dosificación que se efectúan en la etapa de suministro, se obtiene un tiempo total de 22 minutos de contacto del desinfectante con los equipos. En tal sentido, se recomendaría eliminar la etapa de suministro de Oxonia y sumar ese tiempo a la etapa de circulación de Oxonia. Posteriormente, se podría evaluar la necesidad de agregar los 4 minutos faltantes para el cumplimiento de la norma establecida (26 minutos).

(j) Suministro del Agua de Enjuague Final:

Para el enjuague final con agua tampoco es indispensable efectuar la etapa de suministro. La función de este enjuague es desplazar la solución de Oxonia al drenaje que traslada las soluciones de limpieza a la planta de tratamiento de aguas residuales, para posteriormente iniciar la producción. No es necesario el cumplimiento de ninguna condición, ya que la temperatura de producción se alcanza mediante la circulación de un tipo de agua adicional a ésta, que es específicamente tratada para preparar el sistema antes de comenzar a envasar el producto.

Por lo tanto, el barrido de la solución desinfectante puede ser efectuado en una sola etapa, es decir, durante la circulación del agua de enjuague final.

El resultado obtenido según la medición indica que esta fase tiene una duración de 16 minutos, lo que representa un consumo innecesario de agua y un aumento en el tiempo de operación del CIP.

(k) Circulación del Agua de Enjuague Final:

En base a lo establecido en la empresa, la duración de esta fase debe ser de 10 minutos para lograr el arrastre de la solución de Oxonia. Según la medición realizada, el tiempo práctico coincide con este valor, pero tomando en cuenta que una vuelta del circuito completo corresponde a 13 minutos, es recomendable aumentar el tiempo de circulación a este valor, para así garantizar la remoción total de Oxonia en el sistema.

En resumen, si se toman en cuenta las modificaciones sugeridas, la duración de cada una de las etapas resultaría como se muestra en la Tabla N° 13.

Tabla N° 13. Tiempos de operación recomendados para cada etapa del CIP.

Etapa del CIP	Tiempo Medido (min)	Tiempos Recomendados (min)
Barrido con Aire	5	5
Suministro Agua 1	2	0
Enjuague Agua 1	22	13
Suministro Soda Cáustica	13 - 19	13-19
Circulación Soda Cáustica	19	20
Suministro Agua 2	13 - 16	0
Enjuague Agua 2	10	18
Suministro Oxonia	17	0
Circulación Oxonia	5	26
Suministro Agua 3	16	0
Enjuague Agua 3	10	13
TOTAL	141	114

La Tabla N° 13, muestra que las modificaciones sugeridas generarían una disminución en el tiempo de operación del CIP igual a 27 minutos. Adicionalmente, esto traería una reducción en cuanto a los costos asociados al consumo de agua y químicos.

4.1.2. Análisis de las Posibles Causas del Problema

4.1.2.1. Consumo Elevado de Detergente

En base a todos los estudios realizados hasta el momento, se llevó a cabo un análisis causa-efecto a fin de detectar las posibles causas que originan el consumo elevado de soda cáustica. En la Figura N° 26, se presenta el diagrama causa-efecto.

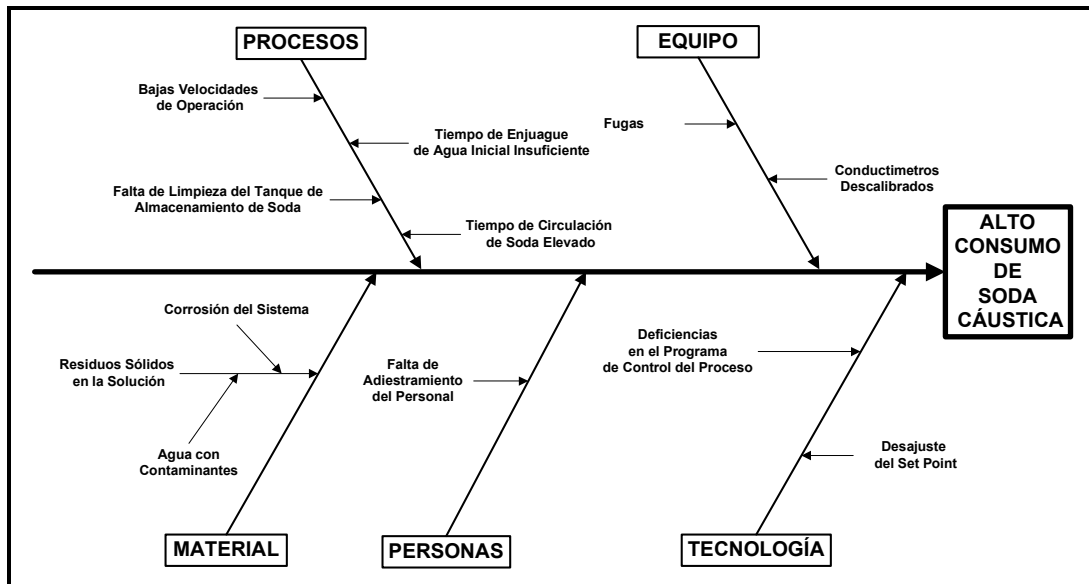


Figura N° 26. Diagrama Causa-Efecto del Consumo de Soda Cáustica en el CIP.

Las posibles causas del problema se organizaron en el diagrama en función a las diversas categorías que pueden dar origen a un problema. Seguidamente se analizará cada una de las causas presentes en las categorías del diagrama.

- (a) Procesos: Esta categoría abarca las causas que son originadas por deficiencias o incumplimiento de las variables y normativas establecidas en el Sistema de Gestión de Calidad de la empresa. En esta rama se presentan varias causas que podrían ocasionar un aumento del consumo de soda cáustica, las cuales son:
- Bajas Velocidades de Operación: anteriormente se mencionó que el empleo de velocidades por debajo de 1,5 m/s no garantiza el efecto de turbulencia requerido para desprender la suciedad que se adhiere a las paredes de los

equipos. En tal sentido, si la norma de esta variable no se cumple, existen riesgos de que la suciedad no se remueva completamente y contamine la solución detergente, por lo que debería ser desechada posteriormente, aumentando su consumo. Sin embargo, se estudió esta variable y los resultados mostrados en la sección 4.1.1.4, muestran que la velocidad de operación se cumple, por tanto se descarta esta posibilidad.

- Tiempo de Enjuague Inicial de Agua Insuficiente: en caso de que este tiempo no cumpla con los requerimientos mínimos, es posible que el arrastre de la suciedad gruesa no se efectúe de manera apropiada, por lo que la soda cáustica tendrá contacto con cantidades mayores de suciedad y perderá sus propiedades limpiadoras en un lapso menor de tiempo, disminuyendo su vida útil y causando su desecho. No obstante, en la sección 4.1.1.5 se demostró que la duración de esta etapa es más larga que la establecida, por lo que esta variable no estaba afectando el consumo del químico.
 - Tiempo de Circulación de Soda Cáustica Elevado: este tiempo no se encontraba por encima de la norma establecida (ver sección 4.1.1.5), por lo tanto, este factor tampoco era causante del aumento en el consumo.
 - Falta de Limpieza del Tanque de Almacenamiento de Soda Cáustica: la acumulación de suciedad en el tanque de almacenamiento de soda cáustica también puede originar su contaminación y posterior desecho, por lo que se requiere que el tanque sea limpiado periódicamente. Debido a esto, se realizó una inspección al tanque para verificar su estado, en donde el mismo fue encontrado en buenas condiciones, demostrando que no estaba ocasionando la contaminación de la solución.
- (b) Equipo: en esta categoría se encuentran las causas relacionadas a fallas del equipo, bien sea por su diseño o mal funcionamiento.
- Fugas: como es evidente, la presencia de fugas en el sistema generaría pérdidas de las soluciones limpiadoras. En base a esto, se realizó una inspección al sistema, a fin de determinar la existencia de fugas en el mismo, sin embargo, sólo se encontró una fuga en llenadora de botellas, la cual era

ocasionada por el deterioro de una empaadura. Aún así, no se pueden atribuir grandes pérdidas de líquido por esta fuga, ya que el flujo de la misma era prácticamente despreciable.

- Conductímetros Descalibrados: tomando en cuenta que los conductímetros son los instrumentos que reportan la conductividad de la solución al sistema de control del proceso, la descalibración de los mismos puede generar un aumento en la dosificación de soda cáustica al sistema. En la sección 4.1.1.1, se demostró que los mismos se encontraban calibrados y no presentaban fallas de ningún tipo.
- (c) Tecnología: este grupo representa las causas que se atribuyen a problemas de la metodología y técnicas aplicadas en el proceso. En este caso, las posibles causas planteadas fueron el desajuste del Set Point de concentración y deficiencias en el programa de control del proceso. Tomando en cuenta los resultados de la sección 4.1.1.1, se determinó que estos dos factores si estaban generando consumos de soda cáustica elevados, ya que los valores asignados al programa de control del proceso no eran los establecidos.
- (d) Personas: esta categoría se refiere a las acciones humanas que pueden incidir sobre el aumento del consumo de la mencionada sustancia. A pesar de que el sistema CIP de la línea de envasado PET es prácticamente automático, existen ciertas acciones que debe realizar el operador, en su mayoría cuando se presenta algún problema en la ejecución de la limpieza.

Durante la evaluación del CIP se pudieron visualizar situaciones en las que el sistema se detenía a causa de diferentes fallas. En muchas de esas oportunidades se notaron deficiencias en el adiestramiento de los operadores del sistema, quienes en varias ocasiones realizaron modificaciones al sistema de manera manual, que no estaban relacionadas con el problema presentado por la línea en ese momento. Entre estas acciones se encuentran: (1) aumento del Set Point de concentración de soda cáustica en el sistema, (2) encendido manual de la bomba que dosifica soda cáustica al 50 % p/p hacia el sistema y (3) vaciado del contenido del tanque de soda cáustica sin ser requerido. Todas estas acciones

fueron erróneas, ya que ninguna resolvió el problema momentáneo del sistema y únicamente lograron aumentar el consumo del químico.

- (e) Material: en este grupo se analizan los problemas que podrían ser generados por los insumos del sistema. En el planteamiento del problema se mencionó que la soda cáustica presenta gran cantidad de sólidos en suspensión al finalizar el CIP, debido a esto, la solución no es reutilizada en el sistema, por el contrario, es enviada a la planta de tratamiento de aguas residuales al culminar la limpieza.

En la Figura N° 27, se muestra el aspecto de la solución detergente en buenas condiciones, y la misma es comparada con una muestra de soda cáustica al retornar del CIP.

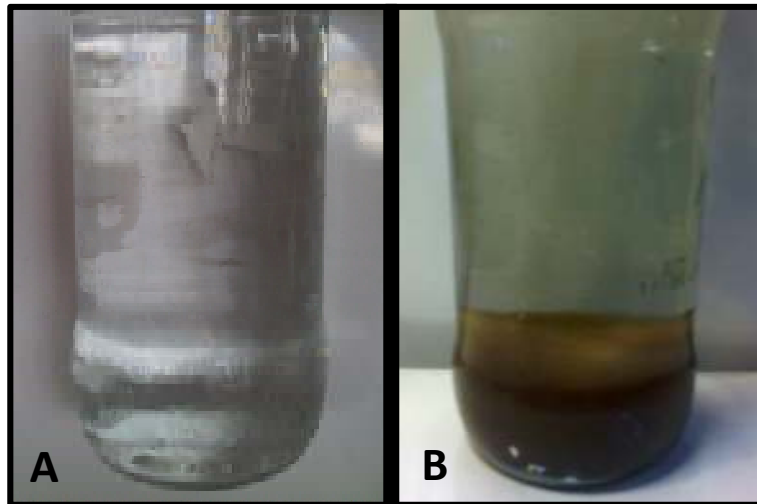


Figura N° 27. Comparación entre una solución de Soda Cáustica en buenas condiciones “A” y la solución de Soda Cáustica al finalizar el CIP “B”.

Se puede apreciar el alto grado de contaminación presente en la muestra al finalizar el CIP (B), en consecuencia, se evaluaron los factores que podían incidir en la aparición de estos residuos en la solución. Algunos de estos factores ya han sido descartados anteriormente, como las bajas velocidades de operación, o el tiempo de enjuague de agua inicial insuficiente, sin embargo, se planteó la posibilidad de que las altas concentraciones a las que estaba siendo empleado el detergente al comienzo de la investigación, pudieran estar originando corrosión en el sistema, y que las partículas desprendidas de los equipos se depositaran en la solución detergente.

En base a los manuales de operación suministrados por el fabricante de los equipos presentes en la línea de envasado PET, se pudo verificar que concentraciones de soda cáustica mayores al 2,0 % p/p generaban riesgo de corrosión en el tipo de acero inoxidable con que fueron fabricados estos equipos. Tomando en cuenta que la soda cáustica estaba circulando a concentraciones de 3,1 % p/p (ver Tabla N° 4), las posibilidades de que se estuviera originando corrosión eran muy altas. Según esto, una vez que se ajustara la concentración al valor establecido en la norma (1,5 % p/p), los sólidos en suspensión en la soda cáustica deberían disminuir considerablemente.

Luego de disminuir la concentración del detergente la cantidad de sólidos suspendidos en la solución se redujo, por lo que se presumió que esta era la causa del problema. Sin embargo, luego de 3 semanas de haber realizado los ajustes en la dosificación, la soda cáustica volvió a presentar un alto contenido de sólidos en suspensión. Este hecho se atribuyó a la instalación de una nueva tubería de agua filtrada, que se encarga del suministro de esta sustancia al sistema durante la preparación de la solución detergente y la realización del CIP. La utilización de ésta tubería se llevó a cabo sin realizar el tratamiento previo anticorrosivo (pasivación), por lo que en el momento de la realización del CIP, el agua filtrada presenta trazas de óxido de hierro.

A fin de comprobar si el óxido de hierro presente en el agua era el causante de los sólidos suspendidos en el detergente, se llevo a cabo una prueba en laboratorio, que consistió en simular la etapa de limpieza con soda cáustica a las condiciones que se encuentra el sistema en la línea de envasado PET. El procedimiento realizado se resume a continuación:

- (a) Se tomó una muestra de soda cáustica sin presencia de sólidos suspendidos en el tanque de almacenamiento del CIP de la línea de envasado PET. Esto garantizó que, tanto las condiciones de preparación, como la concentración de la solución fueran iguales a las de operación.
- (b) Se obtuvo una muestra del óxido presente en el agua de la solución, la cual fue tomada del tanque de almacenamiento de agua del CIP en la línea.

- (c) Se vertió la muestra de soda cáustica en un vaso precipitado y se añadió una pequeña cantidad de óxido de hierro.
- (d) La muestra se calentó hasta 80 °C (temperatura aproximada a la que circula la soda cáustica durante el CIP) y se mantuvo agitada durante 20 minutos (duración del ciclo de detergente en el CIP).
- (e) Una vez culminados los 20 minutos se espero hasta que la muestra se enfriara a temperatura ambiente y a que los sólidos presentes precipitaran para verificar su apariencia y compararla con muestras de soda cáustica contaminada tomadas anteriormente.

En las siguientes imágenes se puede observar la apariencia de la muestra obtenida del experimento en laboratorio y una muestra de soda cáustica tomada luego de un CIP.

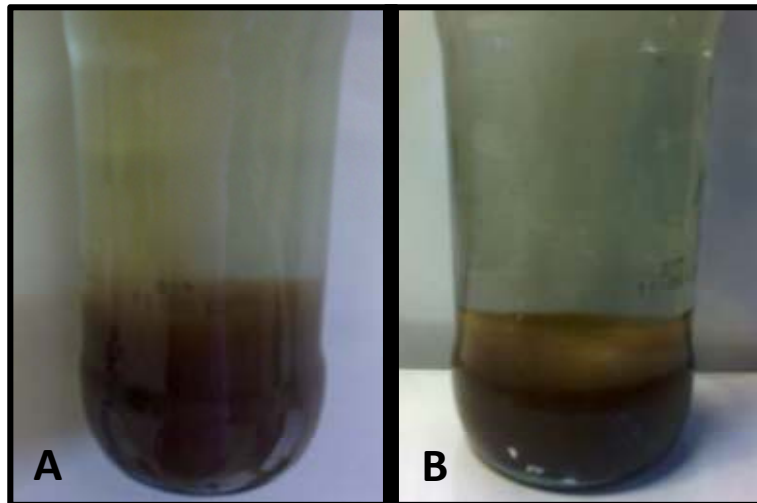


Figura N° 28. Comparación entre la solución de prueba “A” y solución al finalizar el CIP “B”.

La Figura N° 28 indica que la apariencia de la solución de prueba coincide con la de la solución al finalizar el CIP, por lo tanto, se puede afirmar que los sólidos en suspensión presentes en la solución de soda cáustica provienen del óxido de hierro que se encuentra en el agua del sistema, generando aumentos considerables en el consumo del detergente.

Finalmente, las causas del alto consumo de detergente se confirman mediante la realización de un diagrama de Pareto, en donde se puede verificar la frecuencia con que se repite cada una de las condiciones presentadas en el diagrama causa-efecto. Para elaborar este diagrama, se tomaron en cuenta los 43 procesos CIP que fueron monitoreados durante el desarrollo de la investigación.

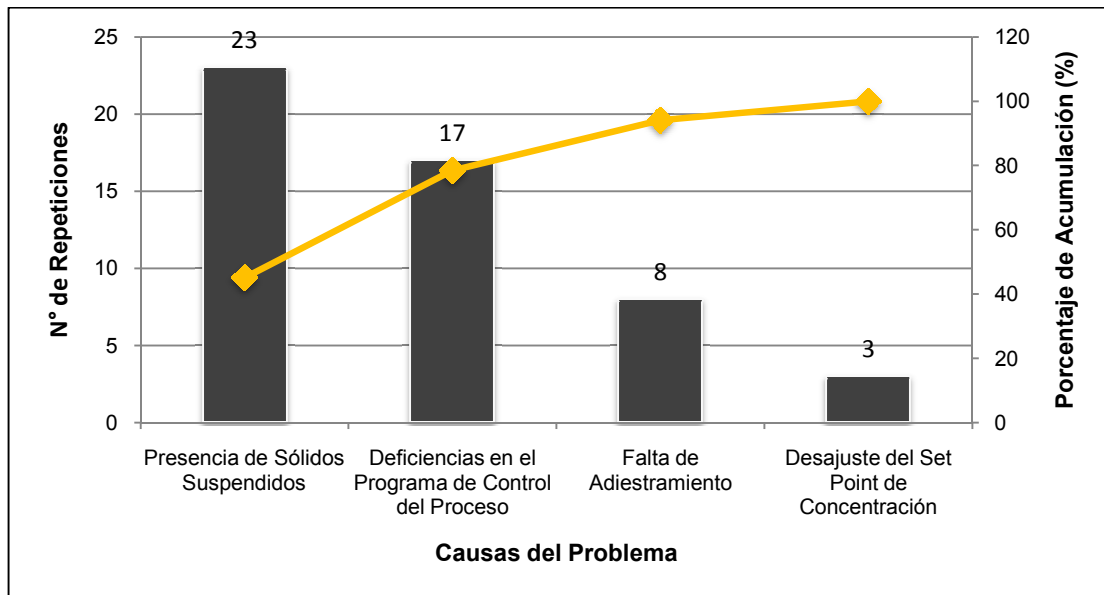


Figura N° 29. Diagrama de Pareto para las causas del Consumo Elevado de Soda Cáustica.

Según se aprecia en la Figura N° 29, se puede afirmar que el principal factor que incide en el consumo de la soda cáustica es la presencia de sólidos suspendidos en la solución, ya que la misma es completamente desechada luego de realizar cada CIP por encontrarse con presencia de óxido. Adicionalmente, los problemas que presentaba el programa de control del CIP también influyeron considerablemente en el aumento de este consumo.

Por último, la Figura N° 29 revela que la falta de adiestramiento de los operadores también ha contribuido al gasto de soda cáustica, por lo cual es necesario reforzar el conocimiento del sistema por parte de los operadores.

4.1.2.2. Consumo Elevado de Desinfectante

Para analizar el consumo de Oxonia también fue necesaria la elaboración de un diagrama causa-efecto. Este se presenta a continuación, en la Figura N° 30.

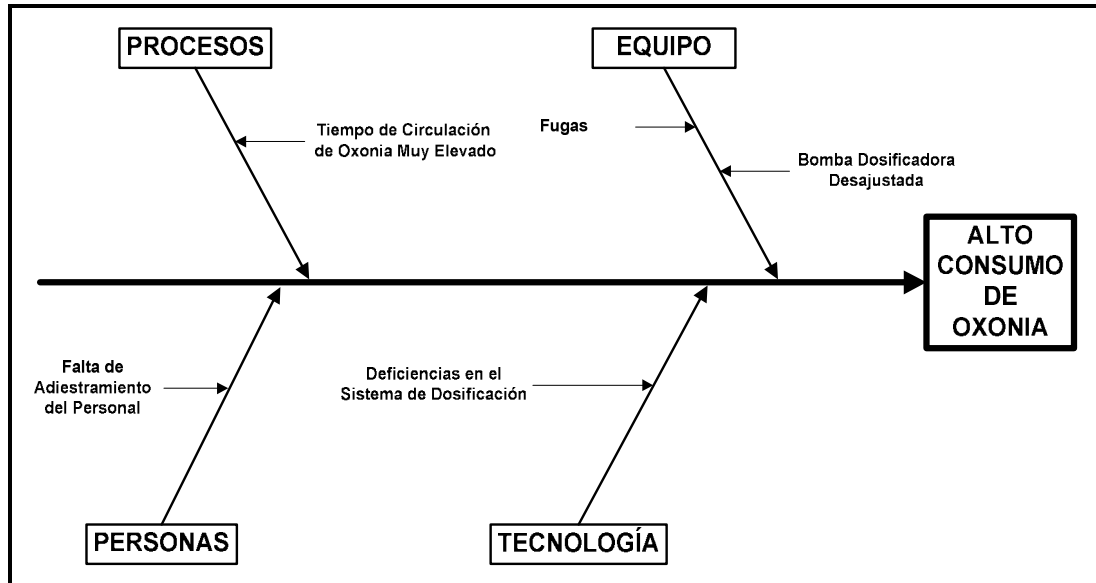


Figura N° 30. Diagrama Causa-Efecto del Consumo de Oxonia en el CIP.

Seguidamente se analizan las posibles causas que pueden ocasionar un gasto mayor al requerido de Oxonia en el sistema.

- (a) Procesos: en este caso también se consideró que si el tiempo de circulación de Oxonia era más largo que el valor establecido, se generaría un aumento en el consumo. Sin embargo, como se vio en la sección 4.1.1.5, el tiempo de circulación de Oxonia no supera el valor establecido, así que las pérdidas de esta sustancia no vienen dadas por parte de este factor.
- (b) Equipo: entre las posibles causas relacionadas a esta categoría se encuentran las fugas en el sistema y el desajuste de la bomba dosificadora de Oxonia. En el primer caso, la única fuga encontrada fue la de la llenadora que se mencionó anteriormente, y la misma se considera despreciable. Esta fuga fue reportada y reparada por el personal de mantenimiento de la línea de envasado PET.

En cuanto al desajuste de la bomba dosificadora, según se explicó en la sección 4.1.1.2, la misma se encontraba mal calibrada, contribuyendo al aumento del consumo de Oxonia.

- (c) Tecnología: el sistema de dosificación que se emplea para la Oxonia, se compone de una bomba dosificadora que se encuentra conectada a un contenedor portátil mediante una manguera extraíble que permite la succión del químico. El contenedor o tambor de Oxonia, tiene una capacidad de 200 L que rinde aproximadamente para dos CIP, siempre y cuando la bomba se encuentre ajustada al valor de concentración establecido en la sección 4.1.1.2 y al tiempo recomendado en la Tabla N° 13. Este cálculo se muestra a continuación:

$$V_{consumido} = F_o * t_o \text{ (Ec. 16)}$$

Donde:

$V_{consumido}$: Volumen de Oxonia consumido (L)

F_o : Flujo de Oxonia suministrado por la bomba dosificadora (L/h)

t_o : Tiempo de circulación de Oxonia (h)

Sustituyendo los valores calculados se tiene:

$$V_{consumido} = 222,2 \frac{L}{h} * 26 \text{ min} * \frac{1 h}{60 \text{ min}}$$

$$V_{consumido} = 96,3 L$$

En base al valor obtenido, se puede comprobar que la capacidad del tambor de Oxonia permite que éste sea empleado únicamente en la realización de dos CIP, antes de requerir el reemplazo del mismo. La sustitución del contenedor debe ser ejecutada de manera manual por un operador.

Tomando en cuenta que la bomba se encontraba descalibrada, las cantidades suministradas de Oxonia eran más altas y por lo tanto, en algunas ocasiones el contenido del tambor no era suficiente para culminar la etapa de circulación de Oxonia. Cuando esto sucede, el sistema se detiene hasta que el tambor es reemplazado, y una vez hecho esto, se reinicia la etapa de Oxonia desde el

principio, por lo que el consumo sería la suma de la etapa que no se culminó, más la etapa realizada completamente. Por otra parte, el sistema no posee un medidor que indique si la cantidad de Oxonia presente en el tambor es suficiente para realizar el CIP, lo que revela limitaciones por parte del mismo.

- (d) Personas: al igual que en el caso de la soda cáustica, se determinó que una de las causas que ocasionaba un consumo de Oxonia excesivo era la falta de adiestramiento de los operadores, así como la falta de supervisión del sistema durante la ejecución del CIP. En el punto anterior se expuso que el contenedor de Oxonia debe ser sustituido por uno nuevo antes de realizar cada CIP. Este cambio lo realizan los operadores del sistema, sin embargo, en muchas oportunidades se evidenció que el contenedor no era reemplazado, por lo que el sistema consumía la cantidad remanente de Oxonia y luego de cambiar el contenedor, se reiniciaba la etapa de circulación de desinfectante, generando un aumento en el consumo.

Las causas del consumo excesivo de Oxonia se pueden comprobar mediante un diagrama de Pareto, el cual se presenta a continuación.

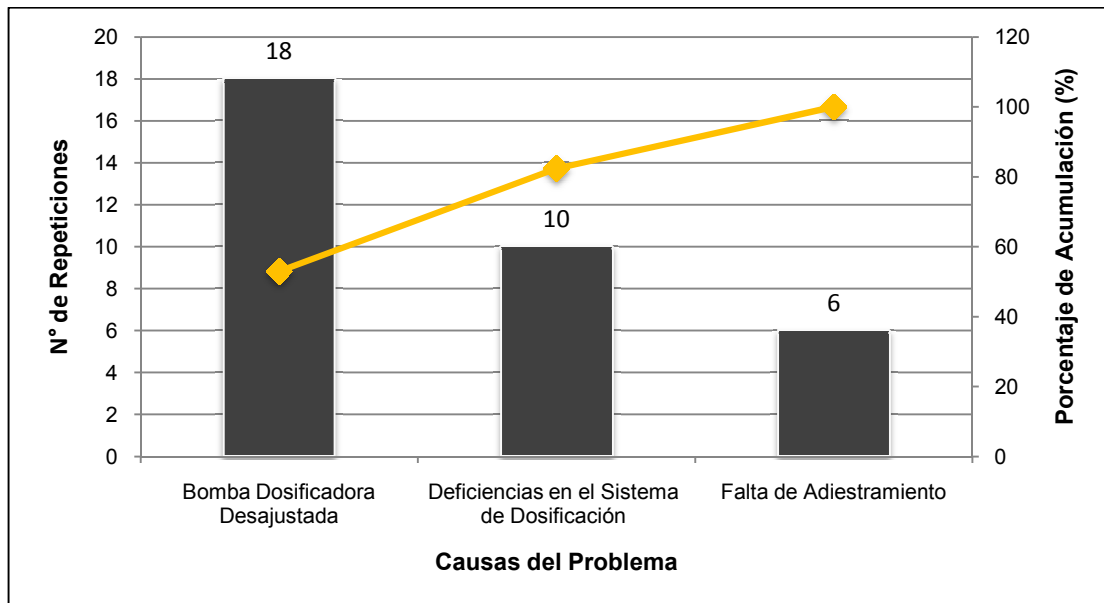


Figura N° 31. Diagrama de Pareto para las Causas del Consumo Elevado de Oxonia.

En la Figura N° 31, se observa que el causante principal del consumo de Oxonia era la descalibración de la bomba de dosificación, seguido de las deficiencias del sistema empleado. En tal sentido, es recomendable buscar alternativas que permitan mejorar el sistema de dosificación, así como también es importante reforzar el adiestramiento de los operadores.

4.1.2.3. Tiempos de Operación Elevados

En esta sección no fue necesaria la elaboración de los diagramas de causa-efecto y Pareto, ya que la única causa posible que contribuía al aumento de la duración del CIP era que los tiempos de operación de cada una de las etapas fueran más altos que los tiempos establecidos para el sistema. Este hecho se comprobó en la sección 4.1.1.5, y se dieron las recomendaciones pertinentes para disminuir los tiempos prácticos.

4.2. DETERMINACIÓN DE LAS CANTIDADES ÓPTIMAS DE AGUA DE ENJUAGUE

En esta sección se presentan los resultados obtenidos con respecto al cálculo de la cantidad óptima de agua de enjuague requerida en el proceso CIP. En función a esto, se determinó el volumen de agua total que puede retener el sistema durante la realización de cada uno de los enjuagues del CIP, el cual representaría el volumen máximo requerido por cada uno de los enjuagues para inundar el sistema completamente.

Posteriormente, se procedió a calcular el consumo actual de cada uno de los enjuagues, mediante la implementación de un Balance de Masa en el sistema, y se realizaron comparaciones con el volumen determinado en el paso anterior, con el fin de detectar oportunidades de ahorro de agua.

Seguidamente se muestran estos resultados, comenzando por el volumen óptimo de agua requerido por el sistema.

4.2.1. Volumen Óptimo de Agua de Enjuague Requerido en el CIP

El volumen óptimo de agua requerido por el sistema corresponde al volumen total que pueden retener los equipos a limpiar durante la ejecución de este proceso. Los equipos presentes en el circuito al que se realiza la limpieza en la línea de envasado PET son: un tanque buffer, un pasteurizador flash y la llenadora de botellas, sin embargo, también se debe considerar el volumen necesario para inundar la tubería que conecta a cada uno de estos equipos. La siguiente ecuación describe la obtención de éste volumen para el sistema en estudio:

$$V_{TOTAL} = V_t + V_b + V_l + V_p \quad (\text{Ec. 17})$$

Donde:

V_{TOTAL} : Volumen total del sistema (m^3)

V_t : Volumen total de las tuberías del circuito (m^3)

V_b : Volumen de solución retenido en el Tanque Buffer durante el CIP (m^3)

V_l : Volumen de solución retenido en la Llenadora durante el CIP (m^3)

V_p : Volumen de solución retenido en el Pasteurizador Flash durante el CIP (m^3)

Los cálculos efectuados para obtener cada uno de estos volúmenes se describen detalladamente a continuación.

4.2.1.1. Volumen de la Tubería del Circuito

Para determinar el volumen total de la tubería que conecta todos los equipos fue necesario realizar la medición de la misma, tomando en cuenta los cambios de diámetro presentes en el circuito. Una vez efectuadas las mediciones, los valores obtenidos permitieron obtener el volumen total de la tubería, el cual fue calculado mediante la siguiente ecuación:

$$V_D = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L \quad (\text{Ec. 18})$$

Donde:

V_D : Volumen del tramo de tubería (m^3)

D : Diámetro de la tubería (m)

L : Longitud del tramo de tubería (m)

La Tabla N° 14, muestra los resultados de las mediciones realizadas, así como los volúmenes obtenidos en función a los diferentes diámetros de tubería presentes en el circuito.

Tabla N° 14. Longitud de la tubería del circuito en función a los diferentes diámetros presentes.

Diámetro (m)	Longitud (m)	Volumen (m^3)
$6,50 \times 10^{-2}$	61,30	0,20
$8,00 \times 10^{-2}$	463,20	2,33
$1,00 \times 10^{-1}$	446,50	3,51

La sumatoria de los volúmenes presentados en la Tabla N° 14, resulta en el volumen total de las tuberías del circuito y su valor es igual a $6,04 \text{ m}^3$, equivalentes a 6040 L.

4.2.1.2. Volumen retenido por el Tanque Buffer durante el CIP

El tanque buffer posee una capacidad total de $10,00 \text{ m}^3$, sin embargo, durante la realización del CIP este equipo es llenado únicamente hasta el 5% de su capacidad, lo que equivale a $0,50 \text{ m}^3$.

4.2.1.3. Volumen retenido por la Llenadora de Botellas durante el CIP

La llenadora de botellas se mantiene al 100 % de su capacidad en todos los pasos del CIP. El volumen máximo permitido por este equipo es de $0,10 \text{ m}^3$, sin embargo, para mejorar el efecto de la limpieza, el programa de control de este equipo descarga el contenido de la llenadora en repetidas ocasiones, durante cada una de las etapas del CIP. Luego de descargar por completo el volumen contenido en el equipo, el sistema vuelve a llenarlo y continúa el proceso de limpieza.

En la Tabla N° 15, se pueden observar el número de descargas que se realizan a la llenadora de botellas en los diferentes enjuagues del CIP.

Tabla N° 15. Descargas de la Llenadora de Botellas durante los Enjuagues del CIP.

Etapa	N° de Purgas	Volumen Total Purgado (m^3)
Enjuague Inicial	4	0,40
Enjuague Intermedio	3	0,30
Enjuague Final	4	0,40

En tal sentido, el sistema deberá suministrar el volumen requerido para llenar la llenadora ($0,10 \text{ m}^3$), más el volumen necesario para compensar las descargas del equipo en cada una de las etapas. La cantidad de agua total que debe suministrarse a la llenadora de botellas por cada etapa se muestra a continuación en la Tabla N° 16.

Tabla N° 16. Volumen Total Requerido por la Llenadora de Botellas durante los Enjuagues del CIP.

Etapa	Volumen Total Purgado (m ³)
Enjuague Inicial	0,50
Enjuague Intermedio	0,40
Enjuague Final	0,50

4.2.1.4. Volumen retenido por el Pasteurizador Flash durante el CIP

El volumen retenido por el Pasteurizador Flash durante la ejecución del CIP es igual a su capacidad, cuyo valor es de 0,11 m³. Adicionalmente, se debe tener en cuenta que, al igual que en la llenadora de botellas, durante el proceso se realizan algunas purgas a este equipo, en las cuales el pasteurizador es vaciado completamente. La siguiente tabla muestra el número de descargas que se efectúan al pasteurizador en cada uno de los enjuagues del CIP, así como el total del volumen desechado en cada descarga.

Tabla N° 17. Descargas del Pasteurizador Flash durante los Enjuagues del CIP.

Etapa	N° de Purgas	Volumen Total Purgado (m ³)
Enjuague Inicial	0	0,00
Enjuague Intermedio	1	0,11
Enjuague Final	2	0,22

El volumen total de agua que es necesario suministrar al pasteurizador por cada etapa se muestra a continuación en la Tabla N° 18.

Tabla N° 18. Volumen Total Requerido por el Pasteurizador Flash durante los Enjuagues del CIP.

Etapa	Volumen Total Purgado (m ³)
Enjuague Inicial	0,11
Enjuague Intermedio	0,22
Enjuague Final	0,33

En base a estos resultados, se calculó la cantidad de agua óptima para la limpieza del sistema, mediante la sumatoria de las capacidades de los equipos presentes y las descargas realizadas a los mismos por cada etapa de enjuague del CIP. Los valores obtenidos se pueden apreciar en la Tabla N° 19.

Tabla N° 19. Cantidad de Agua Requerida por cada Enjuague del CIP.

Equipo	Volumen Total Enjuague Inicial (m ³)	Volumen Total Enjuague Intermedio (m ³)	Volumen Total Enjuague Final (m ³)
Tuberías	6,04	6,04	6,04
Tanque Buffer	0,50	0,50	0,50
Pasteurizador Flash y Descargas al desagüe	0,11	0,22	0,33
Llenadora y Descargas al desagüe	0,50	0,40	0,50
TOTAL	7,15	7,16	7,37

4.2.2. Consumo Actual de Agua en cada uno de los Enjuagues del CIP

En esta etapa se elaboró un balance de masa global, para determinar el consumo de agua en cada uno de los enjuagues del CIP, a partir de los valores registrados por los medidores de flujo en el sistema. El balance de masa se muestra en la Figura N° 32.

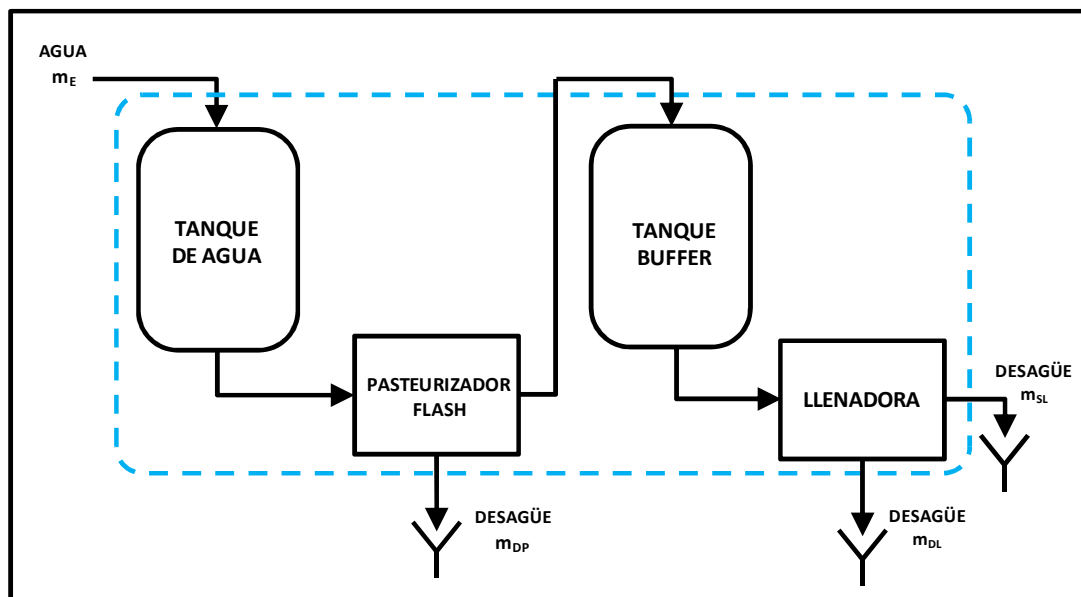


Figura N° 32. Balance de Masa Global del CIP de la línea de Envasado PET.

Tomando en cuenta los términos de la ecuación N° 8 (ver sección 2.4.3), y sabiendo que no ocurren reacciones en el sistema, se anulan los términos de producción y consumo. Asimismo, ocurre con el término de acumulación, por ser este un sistema continuo. Por lo tanto, el balance de masa para este sistema viene dado por la siguiente ecuación:

$$m_E = m_{DP} + m_{DL} + m_{SL} \quad (\text{Ec. 19})$$

Donde:

m_E : Flujo másico de entrada de agua al sistema (Kg/h)

m_{DP} : Flujo másico de descarga del Pasteurizador al desagüe (Kg/h)

m_{DL} : Flujo másico de descarga de la Llenadora al desagüe (Kg/h)

m_{SL} : Flujo másico de salida de la Llenadora (Kg/h)

Se debe destacar que en el caso de la llenadora, los flujos de salida y descarga al desagüe se colocaron por separado, ya que estos flujos son independientes en el sistema.

Cada una de las variables de salida poseen medidores de caudal en el sistema, las cuales se ven reflejadas en el panel de control, por lo que se tomó la medición del tiempo de flujo en cada una de las salidas del sistema, y con ello se pudo calcular el valor del volumen que entra al sistema, por medio de la ecuación N° 19. Esta ecuación está expresada en unidades volumétricas, sabiendo que la densidad del agua es igual a 1 Kg/L.

$$V_E = Q_{DP} \cdot t_{DP} + Q_{DL} \cdot t_{DL} + Q_{SL} \cdot t_{SL} \quad (\text{Ec. 20})$$

Donde:

V_E : Caudal de entrada de agua al sistema (m^3)

Q_{DP} : Caudal de descarga del Pasteurizador al desagüe (m^3/h)

t_{DP} : Tiempo de descarga del Pasteurizador al desagüe (h)

Q_{DL} : Caudal de descarga de la Llenadora al desagüe (m^3/h)

t_{DL} : Tiempo de descarga de la Llenadora al desagüe (h)

Q_{SL} : Caudal de salida de la Llenadora (m^3/h)

t_{SL} : Tiempo de salida de la Llenadora (h)

La Tabla N° 20, muestra los caudales y los tiempos medidos para cada uno de los flujos de salida del sistema CIP.

Tabla N° 20. Duración y Caudal de las Descargas del CIP.

Etapa	Q_{DP} (m ³ /h)	t_{DP} (h)	Q_{DL} (m ³ /h)	t_{DL} (h)	Q_{SL} (m ³ /h)	t_{SL} (h)
Enjuague Inicial	0,0	0,0	25,4	$1,56 \times 10^{-2}$	31,2	$3,67 \times 10^{-1}$
Enjuague Intermedio	23,1	$4,76 \times 10^{-3}$	25,4	$1,17 \times 10^{-2}$	31,4	$4,17 \times 10^{-1}$
Enjuague Final	23,5	$8,93 \times 10^{-3}$	25,3	$1,58 \times 10^{-2}$	31,8	$4,33 \times 10^{-1}$

Con los valores presentados en la Tabla N° 20, se calculó el consumo actual de agua en los enjuagues del CIP, mediante el uso de la ecuación N° 19. Seguidamente se presentan estos resultados en conjunto con los obtenidos en el cálculo de la cantidad óptima de enjuague, a fin de realizar las comparaciones pertinentes.

Tabla N° 21. Comparación entre el consumo actual de agua en el CIP y el consumo óptimo.

Etapa	Consumo Actual (m ³)	Consumo Óptimo (m ³)	Desviación (%)
Enjuague Inicial	11,84	7,15	65,6
Enjuague Intermedio	13,63	7,16	90,4
Enjuague Final	14,38	7,37	95,1

Al comparar la cantidad óptima de agua de enjuague, con los valores obtenidos del consumo actual para cada etapa, se evidencia una gran brecha de hasta 95 % de desviación, lo que se traduce en altos gastos para la empresa.

Estas desviaciones pueden atribuirse al excedente en los tiempos de circulación de agua durante los enjuagues (ver sección 4.1.1.5), por lo que es recomendable disminuir dichos tiempos a los valores señalados en la Tabla N° 13.

4.3. DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LA SOLUCIÓN DETERGENTE EMPLEADA EN EL SISTEMA CIP

Anteriormente se mencionó que la Soda Cáustica retornaba al tanque de almacenamiento con notable contenido de sólidos en suspensión, originados por la presencia de residuos de óxido de hierro en el agua con la que se preparaba la solución detergente y se realizaba el ciclo de limpieza CIP. Esto generaba que la solución detergente fuera inutilizable para posteriores limpiezas, por lo que era enviada a la planta de tratamiento de aguas, y finalmente reemplazada por Soda nueva, incrementando el consumo mensual de este químico. En tal sentido, la vida útil de la solución detergente era de tan solo un ciclo de limpieza, ya que la misma era desechada luego de cada CIP.

Para realizar el estudio de la vida útil era indispensable que el proceso se efectuara con el agua en condiciones apropiadas, por lo mismo, éste estudio no podía llevarse a cabo mientras no se solventara el problema del óxido en el agua, ya que eso ocasionaba el desperdicio de la solución luego de cada ciclo de limpieza. Debido a esto, se decidió realizar el proceso de limpieza con el agua proveniente de otro tanque, cuya tubería de suministro no presentara problemas de desprendimiento de óxido que pudieran afectar el desempeño del proceso.

A continuación se muestran los resultados obtenidos a partir del seguimiento de las propiedades físico-químicas que influyen sobre la eficiencia de la solución limpiadora, comenzando por el análisis realizado a la concentración de Soda Cáustica.

4.3.1. Concentración de Soda Cáustica

Para llevar a cabo el análisis del comportamiento de la concentración de Soda Cáustica en la solución detergente, se efectuó la titulación de muestras tomadas antes y después de cada ciclo de limpieza. En la Tabla N° 22, se presentan los resultados obtenidos para esta prueba:

Tabla N° 22. Concentración de Soda Cáustica antes y después de realizar el CIP.

Fecha	N° de CIP's Realizados	Concentración antes del CIP (% p/p)	Concentración luego del CIP (% p/p)	Diferencia (% p/p)
27-ene	1	1,71	1,60	0,11
30-ene	2	1,60	1,48	0,12
01-feb	3	1,96	1,44	0,52
04-feb	4	1,56	1,44	0,12
06-feb	5	1,52	1,42	0,10
08-feb	6	1,68	1,59	0,09
11-feb	7	1,60	1,53	0,07
12-feb	8	1,69	1,61	0,08
17-feb	9	1,55	1,47	0,08
23-feb	10	1,56	1,42	0,14
03-mar	11	1,53	1,41	0,12
06-mar	12	1,59	1,51	0,08
08-mar	13	1,60	1,49	0,11
11-mar	14	1,54	1,46	0,08
15-mar	15	1,71	1,65	0,06
24-mar	16	1,63	1,56	0,07

Se puede observar que las concentraciones de Soda Cáustica se mantienen oscilando alrededor de la norma (1,5 % p/p) en ambos casos, es decir, antes de realizar el CIP y al finalizarlo. En la tabla también se puede apreciar la diferencia o caída de la concentración al finalizar cada ciclo de limpieza. Es importante destacar que a pesar de que existe esta disminución en la concentración, la misma es contrarrestada antes de iniciar el CIP mediante la preparación de la solución de Soda Cáustica, en donde la concentración es corregida por un sistema de control. En base a esto, no se puede considerar que la concentración de Soda Cáustica este afectando la eficiencia del detergente o su vida útil, ya que la misma siempre es corregida hasta el valor requerido (norma) al inicio de cada ciclo de limpieza.

Seguidamente se puede apreciar la Figura N° 33, donde se muestra el comportamiento de la concentración de Soda Cáustica en función al número de procesos CIP realizados.

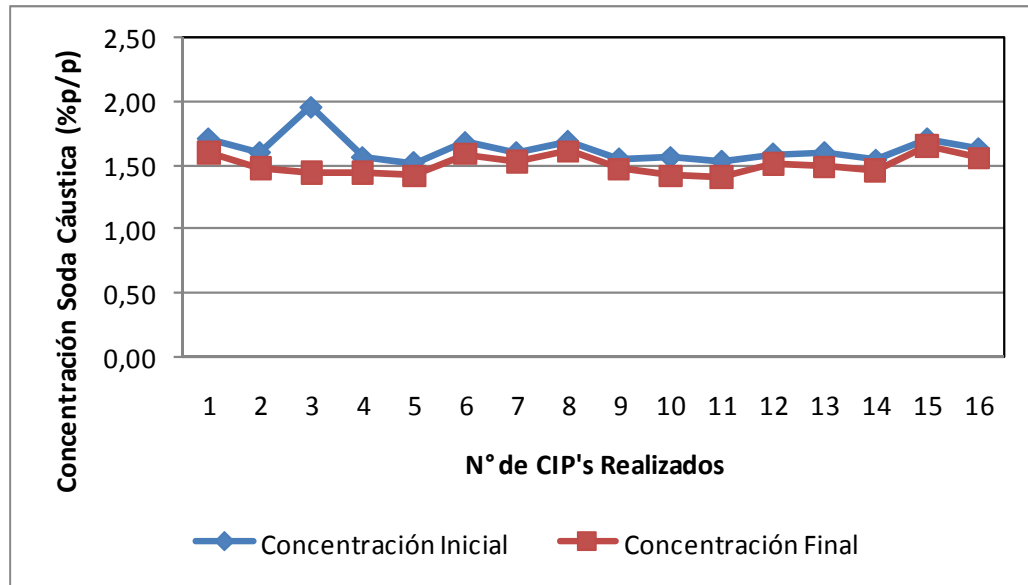


Figura N° 33. Comportamiento de la Concentración de Soda Cáustica antes y después del CIP.

Como se mencionó anteriormente, la concentración de la Soda Cáustica tiende a mantenerse en valores cercanos al establecido. Por otra parte, también se puede observar que la caída de la concentración luego de cada limpieza también se mantiene constante, a excepción del valor correspondiente al tercer punto o CIP, en el que la concentración inicial de Soda Cáustica se encontró muy por encima de la norma debido a una falla en la operación del sistema. Por consiguiente, a este punto se le aplicó el test Q de Dixon, cuyos resultados se muestran en la Tabla N° 23.

Tabla N° 23. Prueba Q de Dixon de la data recolectada para concentración de Soda Cáustica.

Q experimental	Q crítico (99% confianza)
0,826	0,384

El test Q de Dixon arrojó un valor de Q experimental mayor al Q crítico, por lo que el dato puede ser rechazado con un 99% de confianza (ver sección 2.4.1.2).

Una vez rechazado el dato, se calculó el valor de la media para las concentraciones de Soda Cáustica, así como la media de la diferencia que presentan estos valores. En la Tabla N° 24 se pueden apreciar estos resultados.

Tabla N °24. Media de las Concentraciones de Soda Cáustica.

Media Concentración Inicial Soda	Media Concentración Final Soda	Media Diferencia de Concentraciones
1,60	1,51	0,10

Los valores obtenidos demuestran que el valor de la concentración se mantiene estable, así que se puede considerar que la estabilidad de la concentración de soda cáustica en el tiempo no está influyendo sobre la vida útil de la sustancia.

Por otra parte, la media de la diferencia de concentraciones será empleada más adelante para el cálculo del consumo de Soda Cáustica.

4.3.2. Concentración de Carbonato de Sodio

En la soda cáustica comercial puede estar presente además del hidróxido, el carbonato de sodio. Básicamente, el carbonato de sodio se puede considerar como un indicativo de la capacidad de limpieza del detergente, y la concentración de éste no puede exceder el 50% de la concentración de soda cáustica o de lo contrario es necesario desechar la solución detergente. Por esta razón, la concentración de carbonato de sodio representa un factor importante en la vida útil del detergente.

La concentración de este compuesto se determinó mediante titulación a las mismas muestras que se emplearon para realizar el estudio de la concentración de soda cáustica. Los resultados obtenidos de esta experiencia se presentan en la Tabla N° 25.

Tabla N° 25. Concentración de Carbonato de Sodio antes y después de realizar el CIP.

Fecha	N° de CIP's Realizados	Concentración antes del CIP (% p/p)	Concentración luego del CIP (% p/p)
27-ene	1	0,212	0,212
30-ene	2	0,212	0,212
01-feb	3	0,212	0,212
04-feb	4	0,212	0,212
06-feb	5	0,212	0,212
08-feb	6	0,212	0,212
11-feb	7	0,212	0,212
12-feb	8	0,212	0,212
17-feb	9	0,212	0,318
23-feb	10	0,318	0,318
03-mar	11	0,318	0,318
06-mar	12	0,318	0,318
08-mar	13	0,318	0,318
11-mar	14	0,318	0,318
15-mar	15	0,318	0,318
24-mar	16	0,318	0,318

Se observa que la concentración de carbonato de sodio se mantiene a lo largo del tiempo, a excepción del punto 9 donde hay un aumento de ésta variable. Este incremento pudo ser ocasionado por deficiencias en el barrido con aire que se efectúa en el sistema antes de iniciar el CIP, el cual tiene como objetivo remover el dióxido de carbono remanente en los equipos luego del proceso de envasado de malta. Es importante recordar que el dióxido de carbono presente en la malta, reacciona con la soda cáustica generando carbonato de sodio, como se explicó en la sección 2.2.7.5.

A continuación se presenta la Figura N° 34, donde se puede apreciar el comportamiento de la concentración de carbonato de sodio a lo largo del tiempo.

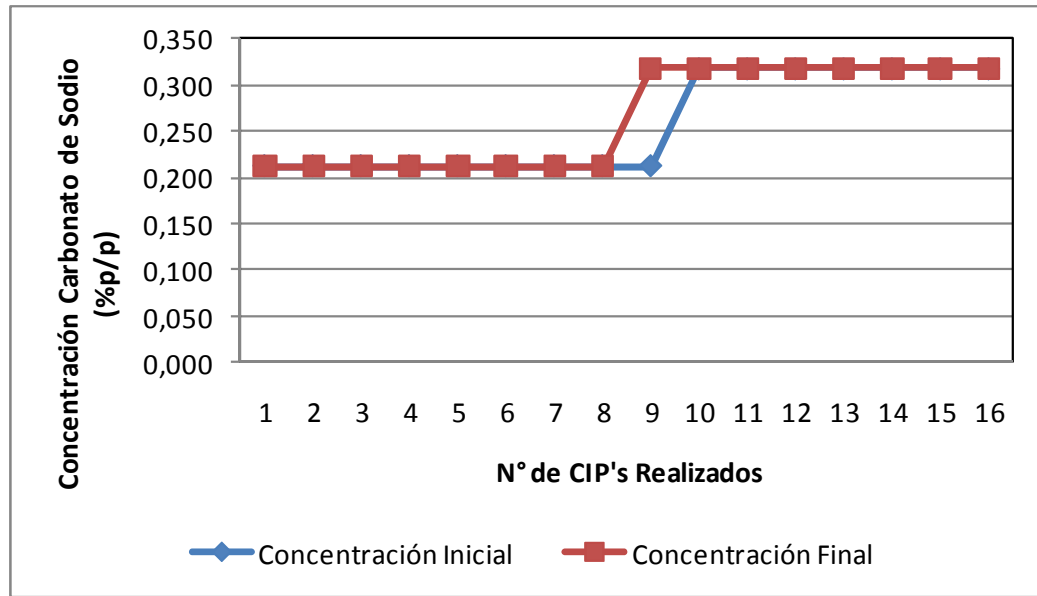


Figura N° 34. Comportamiento de la Concentración de Carbonato de Sodio en la Solución de Soda Cáustica antes y después del CIP.

En la Figura N° 34, se evidencia que no existen variaciones en la concentración de carbonatos, a excepción del punto mencionado anteriormente. Por lo tanto, se puede afirmar que la extracción del dióxido de carbono se está realizando de manera eficiente en el proceso, evitando aumentos considerables en la concentración de carbonato de sodio.

Por otra parte, el valor de las concentraciones nunca alcanza el 50% de la concentración de soda cáustica, que es el valor máximo permitido de concentración de carbonato de sodio. Además, tampoco se observa una tendencia a alcanzar dicho límite, lo cual se puede visualizar en las Figuras N° 35 y 36, que muestran las concentraciones de soda cáustica, carbonato de sodio y el límite permitido para éste último, en función del número de procesos CIP realizados. La Figura N° 35, representa estos valores para las concentraciones antes de realizar la limpieza, mientras que la Figura N° 36 representa los valores obtenidos al finalizar el CIP.

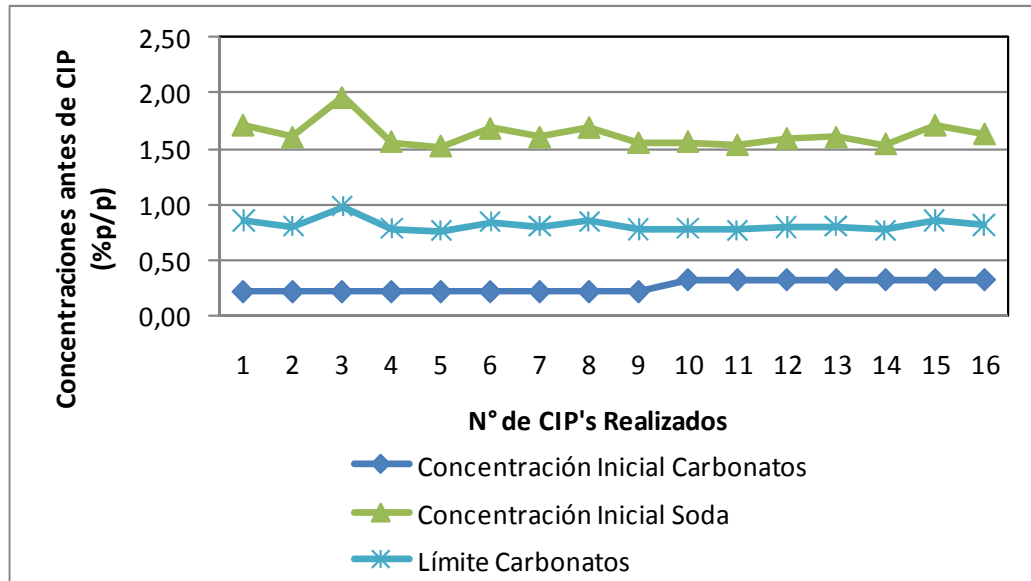


Figura N° 35. Comparación entre la Concentración de Soda Cáustica y la Concentración de Carbonato de Sodio antes de realizar el CIP.

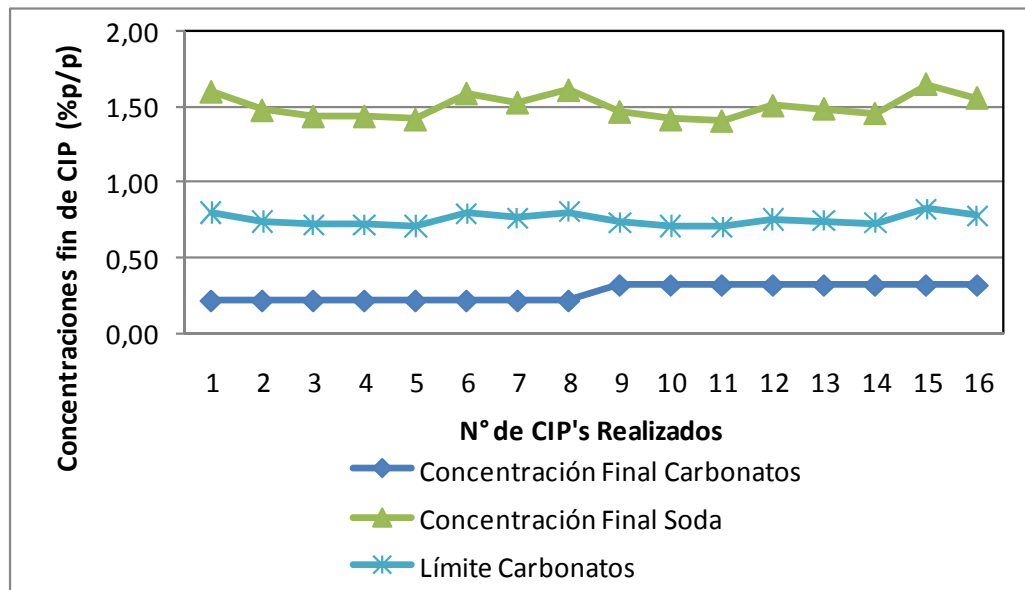


Figura N° 36. Comparación entre la Concentración de Soda Cáustica y la Concentración de Carbonato de Sodio al finalizar el CIP.

Luego de observar en las gráficas que la concentración de carbonato de sodio no tiende a alcanzar los límites establecidos por la empresa, se puede afirmar que la vida útil de la solución de soda cáustica empleada en el CIP tampoco está siendo afectada por esta variable y cualquier disminución en la eficiencia de limpieza no está relacionada a la concentración de carbonato de sodio.

4.3.3. Contenido de Sólidos Totales Suspendedos y Apariencia de la Solución Detergente

Una vez que se obtuvieron las concentraciones de soda cáustica y carbonato de sodio en las muestras, éstas fueron filtradas empleando la metodología descrita en la sección 3.4. De esta manera, se pudo analizar si la solución presentaba un aumento de la cantidad de sólidos suspendidos. Los resultados obtenidos en esta prueba se presentan en la Tabla N° 26.

Tabla N° 26. Contenido de Sólidos Suspendedos y Apariencia de la Solución Detergente (AC: Agua Caliente, AF: Agua Filtrada).

Fecha	N° de CIP's Realizados	Sólidos Suspendedos (mg/L)	Aspecto	Tipo de Agua Empleada
27-ene	1	40,0	Cristalina	AC
30-ene	2	60,0	Cristalina	AC
01-feb	3	30,0	Cristalina	AF/AC
04-feb	4	80,0	Cristalina	AF
06-feb	5	80,0	Cristalina	AC
08-feb	6	80,0	Cristalina	AC
11-feb	7	90,0	Cristalina	AC
12-feb	8	80,0	Cristalina	AC
17-feb	9	90,0	Cristalina	AC
23-feb	10	100,0	Cristalina	AF/AC
03-mar	11	100,0	Cristalina	AC
06-mar	12	110,0	Cristalina	AC
08-mar	13	220,0	Ligeramente Turbia	AF
11-mar	14	250,0	Ligeramente Turbia	AC
15-mar	15	270,0	Ligeramente Turbia	AC
24-mar	16	270,0	Ligeramente Turbia	AC

Se puede apreciar que el contenido de sólidos suspendidos aumentó considerablemente a lo largo del desarrollo de la prueba, lo cual afectó la apariencia de la solución, cuyo aspecto cambió de cristalina a ligeramente turbia, siendo éste un indicativo de disminución en la eficiencia de limpieza. Cabe destacar, que la empresa no posee una norma establecida en cuanto a la cantidad máxima permitida de sólidos en suspensión en la soda cáustica. Debido a esto, los valores del contenido de sólidos suspendidos no pueden utilizarse para determinar si la solución es apta o no para ser reutilizada en el proceso. Básicamente, este análisis suele efectuarse a criterio del operador del sistema, el cual evalúa visualmente la apariencia de la solución antes de comenzar el CIP y en función a ello, toma la decisión de enviarla o no a la planta de tratamiento de aguas residuales.

En la Tabla N° 26, también se señala el tipo de agua empleada para realizar el proceso de limpieza, donde el agua filtrada es la empleada comúnmente en el CIP y la que presenta el problema del óxido de hierro. A su vez, el agua caliente fue la empleada en el sistema como sustitución del agua filtrada. En algunos puntos de la tabla se puede observar que se presentan ambas siglas, lo que significa que el proceso se inició utilizando agua filtrada y posteriormente se culminó la limpieza con agua caliente. Este hecho ocurría debido al desconocimiento del operador del sistema sobre el problema presentado con el agua filtrada.

Cabe destacar que en los casos donde se emplearon los dos tipos de agua, el ajuste de concentración de la solución de soda cáustica había sido realizado con agua caliente, es decir, sin contaminantes. Sin embargo, hubo dos oportunidades donde el CIP se realizó únicamente con el agua filtrada, generando aumentos considerables en el contenido de sólidos suspendidos. Este hecho se ve reflejado en la gráfica que se presenta a continuación, la cual muestra los resultados señalados en la Tabla N° 26, en función del número de limpiezas realizadas.

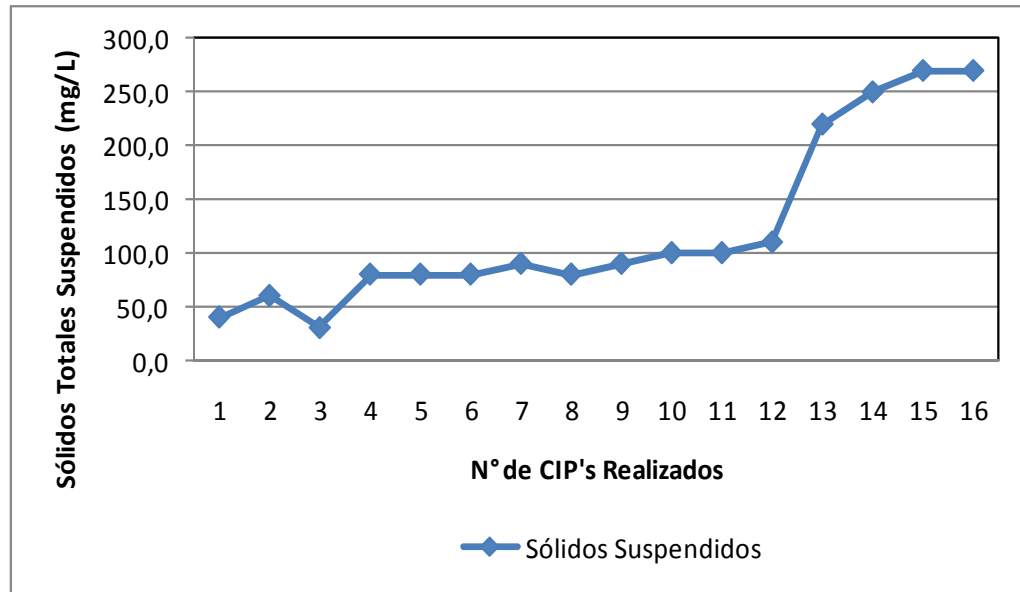


Figura N° 37. Contenido de Sólidos Suspendidos en la Solución Detergente.

El comportamiento de los datos refleja que el contenido de sólidos en suspensión tendía a mantenerse relativamente estable, sin embargo, a partir del CIP número 13, se puede observar un incremento repentino en la variable, que se atribuye a que ese CIP fue realizado con el agua filtrada. De hecho, el otro incremento considerable en los datos se observa en el cuarto CIP realizado, en el cual también se empleó agua filtrada.

Estos resultados indican que los sólidos suspendidos son el principal causante del desperdicio de la solución de soda cáustica y por lo tanto, la disminución de su vida útil, por lo que es fundamental buscar soluciones que impidan la presencia de óxido de hierro en el agua con la que se prepara la solución de limpieza.

En tal sentido, se puede afirmar que una vez que se solucione el problema con el agua filtrada, podrá ser reutilizada la solución de soda cáustica hasta que sea necesario realizar la limpieza del tanque de almacenamiento, lo cual se efectúa cada 3 meses, según el Sistema de Gestión de Calidad. Tomando en cuenta que el CIP es realizado dos veces por semana, la vida útil de la solución de soda cáustica equivaldría a la realización de 24 limpiezas, a partir del momento que se solucione el problema del agua filtrada.

4.3.4. Costos Asociados al Consumo de Soda Cáustica

En base a los resultados presentados en esta sección, se calculó el consumo de soda cáustica por CIP realizado, a fin de determinar los costos asociados.

Según se vio en la Tabla N° 24, la media calculada para la disminución de concentración de soda cáustica es de 0,1 % p/p por cada CIP. A partir de este valor se puede calcular el consumo del químico, considerando que actualmente el costo del mismo es de Bs.F 1,85 por cada Kilogramo.

Para obtener este valor, se tomó en cuenta que el tanque de almacenamiento de la solución de soda cáustica tiene una capacidad de 8000 L y el mismo es llenado hasta el 95% de su nivel antes de iniciar el CIP, lo que equivale a 7600 L de solución. De esta forma, el consumo del detergente sería igual al volumen de solución presente en el tanque, por el valor de la caída de concentración:

$$C = \frac{V_{sol} * C_{sol} * \rho}{100} \quad (\text{Ec. 21})$$

Donde:

C: Consumo de soda cáustica (Kg)

V_{sol} : Volumen de la solución de soda cáustica (L)

C_{sol} : Concentración de la solución (% peso)

ρ : Densidad de la solución (1 Kg/L)

100: factor de conversión (100 %)

Tomando en cuenta la ecuación 20, se calculó el consumo del detergente considerando que el mismo no es desechado antes de realizar la limpieza del tanque (luego de 3 meses). Por otra parte, también se calculó el consumo del químico antes de realizar las modificaciones planteadas en la sección 4.1.1.1, en donde la media de concentración de soda cáustica era de 3,1 % p/p, y dicha solución era desechada completamente luego de realizar el CIP.

Los resultados obtenidos en base a estos cálculos se observan en la Tabla N° 27, donde se presenta, además, el costo asociado a este químico antes y después de llevar a cabo los ajustes del sistema.

Tabla N° 27. Consumo de Soda Cáustica por cada CIP antes y después de realizar modificaciones del sistema.

	Consumo antes de Modificaciones (Kg)	Consumo luego de Modificaciones (Kg)	Ahorro
Masa (Kg)	235,60	7,60	228,00
Costos (Bs.F)	435,86	14,06	421,80

Se puede observar que, mediante las modificaciones realizadas al sistema, el consumo de soda cáustica disminuyó en 228 Kg en cada CIP, lo que se traduce en un descenso del gasto de Bs.F 421,80, por lo cual se puede afirmar que el rendimiento de la soda cáustica mejoró ampliamente.

Adicionalmente, se debe tomar en cuenta que el ahorro en el consumo de detergente también se traduce en un ahorro del consumo del aditivo (emulsificante) que es añadido a la soda cáustica. En tal sentido, se tiene que el aditivo se añade a la soda cáustica en una proporción de 1:100, por lo que a una concentración de 3,1 % p/p de detergente, la concentración de aditivo es de 0,031 % p/p. Los resultados en cuanto ahorro de aditivo se muestran en la siguiente tabla, considerando que el costo del este es igual a Bs.F 14,15 por cada Kilogramo.

Tabla N° 28. Consumo de Aditivo por cada CIP antes y después de realizar modificaciones del sistema.

	Consumo antes de Modificaciones (Kg)	Consumo luego de Modificaciones (Kg)	Ahorro
Masa (Kg)	2,36	0,08	2,28
Costos (Bs.F)	33,34	1,08	32,26

Tomando en cuenta la disminución del consumo de detergente y aditivo, se tiene que el ahorro total generado por cada CIP realizado fue de Bs.F 454,06.

4.4. IDENTIFICACIÓN DE UN NUEVO QUÍMICO DE LIMPIEZA QUE DISMINUYA COSTOS Y TIEMPOS DE OPERACIÓN

Antes de presentar los resultados de este objetivo, es importante destacar que la Soda Cáustica cumple con todos los requisitos de limpieza exigidos por la empresa para el sistema de limpieza en sitio (CIP), por lo que ésta investigación se basó primordialmente en determinar un químico que permitiera obtener una reducción de costos y tiempos de operación, siempre y cuando se mantuvieran o mejoraran los estándares de calidad que se logran mediante el empleo de la Soda Cáustica.

De esta manera se identificaron, mediante una investigación bibliográfica, los detergentes empleados comúnmente en sistemas CIP de la industria cervecera, y se realizaron comparaciones entre sus propiedades de limpieza más relevantes.

A partir de la información recabada, se generó una tabla comparativa, donde se presentan los químicos seleccionados y las propiedades analizadas. Los requerimientos en las propiedades evaluadas para cada detergente se explican detalladamente a continuación:

- (a) Poder Secuestrante: el detergente debe ser capaz de evitar el endurecimiento de la suciedad en la superficie de los equipos.
- (b) Capacidad de Enjuague: es necesario que el detergente se pueda remover fácilmente, por medio del enjuague con agua, de manera que no deje residuos en el sistema.
- (c) Solubilidad en Agua: el químico debe tener una alta solubilidad en agua, ya que esta será el disolvente empleado para preparar la solución detergente.
- (d) Capacidad de Suspensión: durante la realización de la limpieza es importante que la suciedad permanezca suspendida en la solución detergente para evitar que la misma vuelva a depositarse sobre las superficies.
- (e) Poder Emulsificante: esta propiedad genera la reducción de la tensión superficial del agua para permitir un mayor contacto entre el detergente y la suciedad, facilitando la limpieza.

- (f) Formación de Espuma: la presencia de espuma en el CIP genera dos problemas importantes: el riesgo de cavitación de las bombas y el mal enjuague del detergente. Por ende, el detergente empleado no debe tener tendencia a generar espuma.
- (g) Corrosividad: es menester evitar la utilización de detergentes que generen corrosión al acero inoxidable a las concentraciones de operación.
- (h) Toxicidad: el detergente empleado no debe tener un grado de toxicidad muy elevado, ni causar daños graves al ambiente. En el caso de Cervecería Polar C.A., las aguas residuales son tratadas mediante una biomasa que puede ser destruida si se emplean sustancias incompatibles con ésta. Por lo tanto, la escogencia del detergente también se verá determinada por la adaptación de la biomasa al mismo.
- (i) Temperatura de Operación: se refiere a la temperatura requerida por el detergente para que la limpieza sea eficaz. Los detergentes que puedan ser empleados a temperaturas bajas prevalecerán sobre los demás, ya que esto representaría ahorros en el consumo energético.
- (j) Tiempo de Operación: Se debe emplear detergentes que logren la remoción de la suciedad en períodos de tiempo corto, de tal forma que los costos de operación no aumenten como consecuencia de una disminución en la productividad de la empresa.
- (k) Concentración de Operación: es deseable la utilización de químicos que puedan operar a bajas concentraciones, ya que esta variable está relacionada con el consumo y los costos de operación. A menores concentraciones se tendrá un menor consumo, además de una disminución de los riesgos de originar corrosión en los equipos.

Seguidamente, se presenta una tabla donde se comparan las propiedades de los detergentes seleccionados en función a las propiedades de la Soda Cáustica. La búsqueda de los químicos que se presentan en la tabla, se realizó mediante una revisión bibliográfica, donde se incluyeron libros especializados en el tema y

catálogos de productos de diversos proveedores. Básicamente se seleccionaron 3 detergentes diferentes, por ser los utilizados actualmente en los sistemas CIP de diversas cervecerías en el mundo. Estos detergentes son: Hidróxido de Potasio, Ácido Fosfórico y Ácido Nítrico.

Tabla N° 29. Comparación entre las propiedades de diferentes detergentes empleados en la industria cervecera.

Propiedad	Hidróxido de Sodio	Hidróxido de Potasio	Ácido Fosfórico	Ácido Nítrico
Poder Secuestrante	Baja	Baja	Baja	Baja
Capacidad de Enjuague	Alta	Alta	Alta	Alta
Solubilidad en Agua	Alta	Alta	Alta	Alta
Capacidad de Suspensión	Media	Media	Baja	Baja
Poder Emulsificante	Baja	Baja	Baja	Baja
Formación de Espuma	Baja	Baja	Muy Baja	Muy Baja
Corrosividad	Alta	Muy Alta	Media	Alta
Toxicidad	Media	Media	Muy Alta	Alta
Temperatura de Operación (°C)	82	85	30	30
Tiempo de Contacto (minutos)	20	30	20	20
Concentración de Operación (% p/p)	1,5	2,5	0,8	1,0

La mayoría de las propiedades o parámetros estudiados no tienen un valor establecido ya que no son propiedades medibles. Para estos casos se asignó una escala que va desde “Muy Baja” para indicar que el detergente no posee esta característica, hasta “Muy Alta”, que indica que la propiedad es excelente.

Una vez analizados los detergentes en base a los diferentes parámetros, se realizó una matriz de selección para determinar cuál de ellos ofrece teóricamente el mejor comportamiento. Para esto, se asignó un valor a cada propiedad en base a la escala establecida, donde los valores asignados fueron los siguientes:

- (a) Muy Baja = 1
- (b) Baja = 2
- (c) Media = 3
- (d) Alta = 4
- (e) Muy Alta = 5

Para la evaluación de las propiedades de corrosividad, toxicidad, temperatura, tiempo y concentración de operación, los valores se asignaron de manera inversa, ya que el aumento de estas variables resulta desfavorable para el proceso. De esta forma, los valores asignados en estos casos fueron:

- (f) Muy Baja = 5
- (g) Baja = 4
- (h) Media = 3
- (i) Alta = 2
- (j) Muy Alta = 1

En el caso de la temperatura, tiempo y concentración de operación, se puede observar que si tienen valores asignados en la Tabla N° 28, por lo tanto, al valor menos conveniente de la propiedad se asignó el valor de 1, y el resto de los valores fueron calculados proporcionalmente a ese valor. Finalmente, los valores asignados fueron totalizados para cada detergente, de manera que el que obtuviera en mayor valor sería el más eficiente de todos.

Los valores asignados a cada propiedad, así como el total para cada uno de los detergentes evaluados, se presentan en la Tabla N° 30.

Tabla N° 30. Matriz de Selección del Detergente.

Propiedad	Hidróxido de Sodio	Hidróxido de Potasio	Ácido Fosfórico	Ácido Nítrico
Poder Secuestrante	2,00	2,00	2,00	2,00
Capacidad de Enjuague	4,00	4,00	4,00	4,00
Solubilidad en Agua	4,00	4,00	4,00	4,00
Capacidad de Suspensión	3,00	3,00	2,00	2,00
Poder Emulsificante	2,00	2,00	2,00	2,00
Formación de Espuma	2,00	2,00	1,00	1,00
Corrosividad	2,00	1,00	3,00	2,00
Toxicidad	3,00	3,00	1,00	2,00
Temperatura de Operación (°C)	1,04	1,00	2,83	2,83
Tiempo de Contacto (minutos)	1,50	1,00	1,50	1,50
Concentración de Operación (% p/p)	1,67	1,00	3,12	2,50
TOTAL	26,21	24,00	26,45	25,83

Los resultados de la matriz demuestran que el único detergente que posee mejores propiedades de limpieza que la Soda Cáustica es el Ácido Fosfórico. En general, este químico cumple con todas las características requeridas por el proceso. No obstante, su poder secuestrante, emulsificante y capacidad de suspensión no son particularmente altos, por lo que es necesario añadir un aditivo para mejorar esos efectos, como ocurre con la Soda Cáustica.

Entre las ventajas que posee este detergente, son las bajas condiciones de operación a las que opera (tiempo, concentración y temperatura), lo que representaría para la empresa un ahorro en el consumo de energía y de las sustancias de limpieza, así como un aumento de la productividad. Sin embargo, el ácido fosfórico es altamente tóxico para el ambiente, y en el caso particular de Cervecería Polar, afecta de forma irremediable a la biomasa empleada en la planta de tratamiento de aguas residuales, descartando por completo cualquier posibilidad de emplear este químico en la empresa de manera cotidiana. En tal sentido, se puede decir que la Soda Cáustica es el detergente más apropiado para ser empleado en la empresa.

Por otra parte, durante el desarrollo de la investigación se planteó la posibilidad de unir las etapas de limpieza y desinfección con el fin de simplificar el proceso y disminuir costos. Esto es posible mediante la implementación de un solo producto que posea ambas propiedades, es decir, un detergente-desinfectante.

Los detergentes-desinfectantes son combinaciones de ingredientes compatibles y complementarios, que contienen además de un detergente, un desinfectante de forma que la limpieza y desinfección se llevan a cabo en una sola operación.

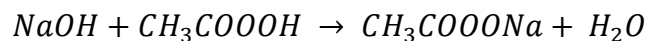
Evidentemente, estos químicos deberán ser capaces de mantener los estándares de limpieza y desinfección que lograrían si se emplearan de forma separada, además de generar un ahorro considerable en el proceso, de lo contrario, su aplicación no es viable.

Luego de buscar información referente a esta clase de químicos, se pudo concluir que la mayoría de los detergentes-desinfectantes suelen ser más costosos y menos eficaces para tratar el tipo de suciedad que se presenta en la industria cervecera. Sin embargo, se planteó la posibilidad de emplear una mezcla de Soda Cáustica y Oxonia,

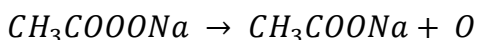
por ser estos los químicos empleados en la empresa actualmente. En base a esto, se halló información sobre un procedimiento desarrollado por una empresa de productos químicos de limpieza, mediante el cual se emplea una mezcla de estos compuestos para realizar la limpieza CIP en industrias de procesamiento de bebidas.

El procedimiento establecido por la empresa, denominado “Advantis”, mejora la capacidad detergente y desinfectante que poseen los compuestos originalmente, mediante la liberación de moléculas de oxígeno elemental, que poseen un efecto desinfectante elevado.

Cabe destacar que ocurren reacciones al mezclar los compuestos, ya que se unen una base (Soda Cáustica) y un ácido (Ácido Peracético). Durante la adición de la Oxonia a la Soda Cáustica, esta es neutralizada para formar Glicolato de Sodio y agua, según muestra la siguiente reacción:

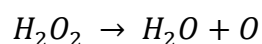


Posteriormente, el Glicolato de Sodio se descompone para liberar Oxígeno elemental y Acetato de Sodio:



El Acetato de Sodio formado, no genera inconvenientes en la limpieza, ni afecta el proceso de recuperación de la solución de Soda Cáustica, ya que no genera precipitados ni incrustaciones en los equipos. Además, el Acetato de Sodio actúa como un “buffer”, es decir, que mantiene el pH de la solución, lo cual contribuye a mantener la efectividad de la limpieza cuando se emplean detergentes alcalinos como la Soda Cáustica.

Se debe recordar que la Oxonia es una mezcla de Ácido Peracético y Peróxido de Hidrógeno. Este último, sufre una descomposición en la que nuevamente se liberan Oxígeno elemental y agua:



Con respecto al método de empleo en el CIP de la empresa, no se requerirían modificaciones en el sistema, ya que básicamente se estarían utilizando las mismas sustancias químicas que venían siendo empleadas. Los únicos cambios requeridos serían en cuanto al programa que controla las etapas del sistema, ya que éstas tendrían pequeñas modificaciones con respecto a la duración y los *Set Point* de cada una. Esto se explica de manera detallada a continuación, con el fin de dar una visión más clara de la optimización que generaría implementar esta mezcla en sustitución de los químicos por separado.

En la Figura N° 38, se representan cada una de las etapas que posee el sistema CIP actual: (1) un barrido con aire de 5 minutos de duración, (2) un pre-enjuague con agua de aproximadamente 20 minutos, (3) lavado con soda cáustica durante 40 minutos a una temperatura de 80 °C, (4) enjuague intermedio con agua durante 30 minutos aproximados, (5) 25 minutos de desinfección y (6) un enjuague final con agua por 20 minutos.

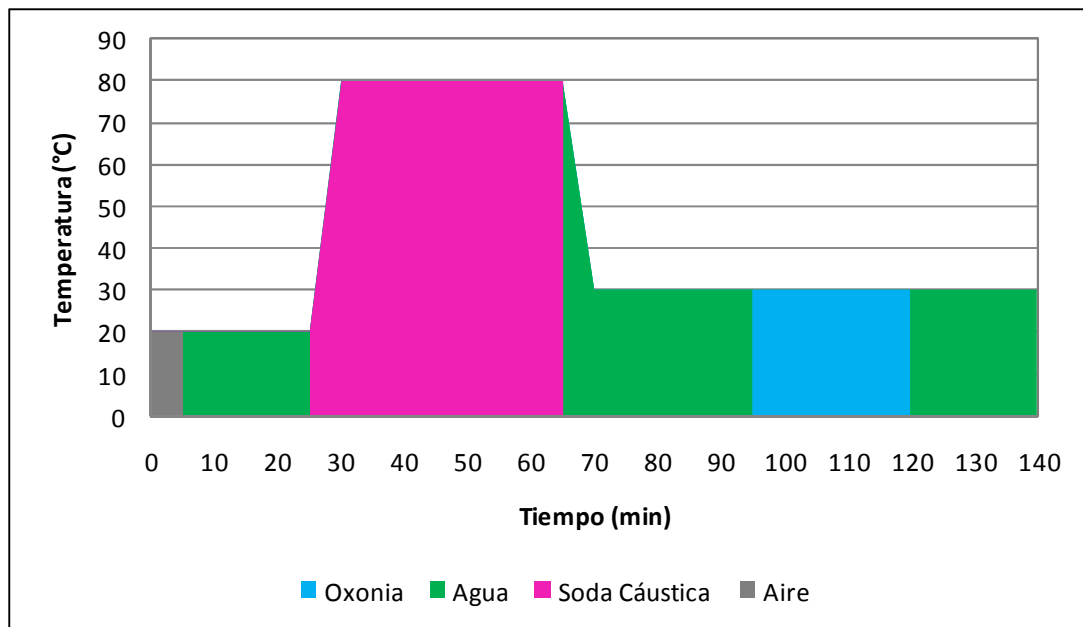


Figura N° 38. Procedimiento tradicional de limpieza CIP.

El procedimiento requerido para emplear la mezcla de Soda Cáustica y Oxonia (Advantis) en el CIP, posee ciertas diferencias con el procedimiento tradicional. El

siguiente gráfico muestra las etapas requeridas para la aplicación de esta mezcla, adaptadas al sistema CIP de la línea de envasado PET.

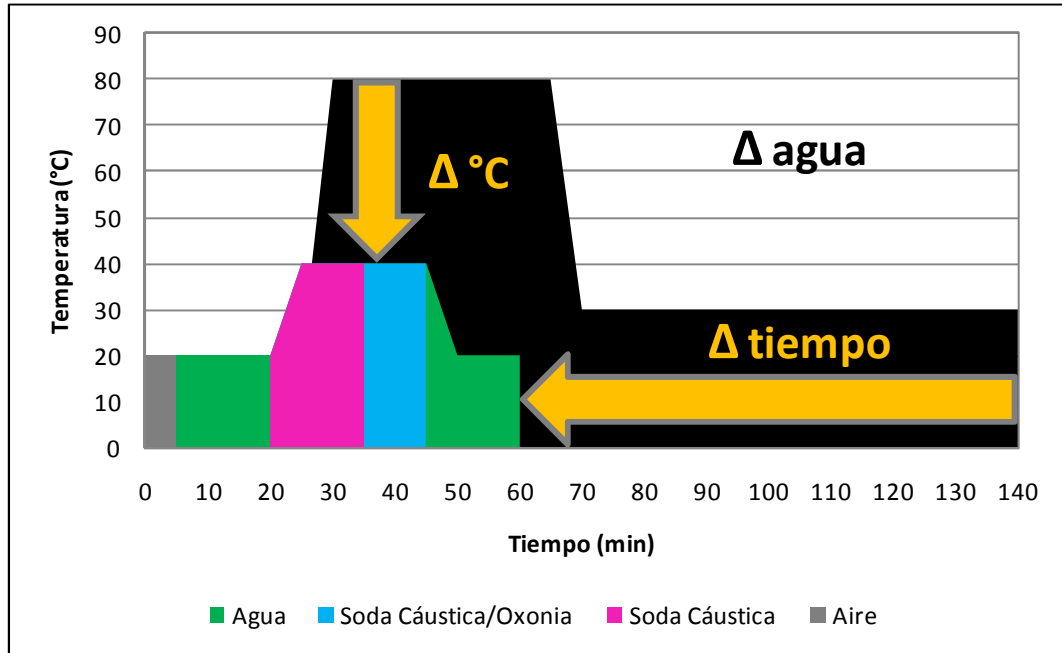


Figura N° 39. Procedimiento de limpieza CIP Advantis comparado con el CIP tradicional.

Las etapas que se aprecian en la Figura N° 39, se describen a continuación:

- Barrido con aire: Esta etapa se mantiene en el sistema para evitar la reacción entre la Soda Cáustica y el Dióxido de Carbono del producto. La duración seguiría siendo de 5 minutos.
- Pre-enjuague de Agua: esta etapa se mantendría igual que en el CIP actual, ya que su función es remover la suciedad más gruesa. La duración sería de 13 minutos que equivalen a una vuelta del circuito de la línea de envasado PET.
- Limpieza con Detergente: Antes de emplear la mezcla de detergente-desinfectante se realizaría una limpieza previa únicamente con Soda Cáustica para eliminar la suciedad residual y evitar que afecte el efecto desinfectante de los químicos, sin embargo, esta etapa tendría una duración de máximo 15 minutos, de hecho, según el estudio realizado por la empresa que desarrolló

el procedimiento, esta fase podría durar únicamente 5 minutos sin importar el largo del circuito a limpiar. Por otra parte, la limpieza se realizaría a 40 °C, por lo que no sería necesario aplicar el enjuague intermedio de agua para disminuir la temperatura.

- (d) Limpieza/Desinfección: En esta etapa la Soda Cáustica continuaría recirculando en el sistema a medida que se dosifica la Oxonia en cantidades determinadas. La duración de esta fase sería de 10 minutos, según lo establecido en el procedimiento.
- (e) Enjuague Final de Agua: Tendría una duración comprendida entre 13-15 minutos, según lo explicado anteriormente en la sección 4.1.1.5.

Los valores de concentración y temperatura a los que operarían cada una de las etapas descritas se presentan en la Tabla N° 31.

Tabla N° 31. Condiciones para cada etapa del CIP según procedimiento Advantis.

Etapa y Químicos Asociados	Concentración (% p/p)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)
Barrido con Aire	-	-	5
Pre-Enjuague Agua	-	20 °C	13
Limpieza (NaOH + aditivo)	1,5 NaOH 0,2 Aditivo	40 °C	5-15
Limpieza/Desinfección (NaOH + aditivo + Oxonia)	1,5 NaOH 0,2 Aditivo 0,5 Oxonia	40 °C	10 min
Enjuague Final Agua	-	20 °C	13-15 min

La información presentada en la Tabla N° 31, demuestra que las concentraciones requeridas para el detergente y el desinfectante, al mezclarlos, son las mismas empleadas en el CIP actual. Además, el aditivo que es añadido al detergente en el proceso actual, también se encuentra presente en este caso. Por lo tanto, las propiedades de limpieza (capacidad de suspensión, acción secuestrante, etc) de la mezcla no tendrían variación alguna con respecto a la utilización de los químicos por separado, a excepción del incremento de la actividad de las sustancias por la presencia del elemento Oxígeno.

Los compuestos liberados como consecuencia de las reacciones entre la Soda Cáustica y la Oxonia, no causan efectos desfavorables para la biomasa empleada en el área de tratamiento de aguas residuales de la planta. Además, las bajas concentraciones a las que se encontrarían estos químicos, no representan riesgos de toxicidad y/o manejo, por lo que la mezcla no causaría problemas de esta índole en caso de ser empleada en la empresa.

En resumen, la aplicación del procedimiento “Advantis” generaría ahorros considerables en cuanto a consumo de agua, ya que se eliminaría el enjuague intermedio completamente. Asimismo, el consumo energético del CIP también se ve reducido debido a que la etapa de limpieza y desinfección opera a una temperatura máxima de 40 °C.

El empleo de esta mezcla también representaría una disminución considerable de tiempos de operación, que se traducen en mayor productividad para la empresa. La reducción del tiempo sería de aproximadamente 1 hora y 20 minutos menos, con respecto al CIP que se realiza actualmente en la empresa, tal y como se puede apreciar en la Figura N° 39.

En caso de implementar esta mezcla en la empresa, la inversión se limitaría a los costos necesarios para adaptar el programa de control del sistema CIP a este nuevo procedimiento. Con respecto a los costos de operación, se debe realizar un estudio del consumo de Soda Cáustica generado por la reacción con Ácido Peracético en cada CIP realizado. A excepción de esto, los costos asociados a químicos serían los mismos que en el procedimiento actual, debido a que estas sustancias no varían. En el caso de la Oxonia, el consumo también disminuiría, ya que su tiempo de circulación es mucho menor que en el procedimiento realizado actualmente.

De cualquier forma, se requiere de un análisis intensivo, donde se realicen pruebas tanto a nivel de laboratorio como de campo, a fin de evaluar el desempeño del proceso y de verificar el cumplimiento de los parámetros de calidad. Tales pruebas no se llevaron a cabo en este trabajo especial de grado ya que se encuentran fuera del alcance de ésta investigación.

4.5. GENERACIÓN DE UN PLAN ESTRATÉGICO DE MEJORA OPERACIONAL DEL SISTEMA CIP

En esta sección se presentan las propuestas de mejora planteadas a la empresa en función a los problemas detectados y al análisis realizado a los mismos. Cabe destacar que algunas de las propuestas ya fueron implementadas en la empresa, incluso algunas de éstas ya se discutieron en las secciones anteriores de este proyecto.

A continuación se explican detalladamente las propuestas desarrolladas, comenzando con aquellas que permitirán disminuir el consumo de Soda Cáustica.

4.5.1. Propuestas de Mejora Asociadas al Consumo de Soda Cáustica

Las propuestas que permitirán obtener un ahorro en el consumo de Soda Cáustica se presentan a continuación:

4.5.1.1. Disminución del *Set Point* de Concentración del CIP

En la sección 4.1.1.1, se demostró que el *Set Point* de concentración se encontraba por encima de lo establecido, aumentando el consumo de detergente. En base a esto, se informó a la empresa del problema y el *Set Point* fue disminuido a la norma establecida. Esta operación no generó ningún costo de inversión, ya que solo involucraba el cambio del valor establecido en el panel de control del sistema CIP, sin embargo si generó un ahorro significativo.

Adicionalmente, es recomendable que el acceso al programa donde se modifican los *Set Point* del proceso sea bloqueado, para prevenir que los operadores del sistema puedan cambiar estos valores sin previo acuerdo con la Gerencia de Calidad de la empresa.

4.5.1.2. Aumento del Volumen Suministrado de Detergente para Inundar el Sistema

De igual forma, en la sección 4.1.1.1, se expuso que el *Set Point* del volumen de detergente suministrado al sistema en la etapa de suministro era menor al requerido,

por lo que se planteó el problema a la empresa y se realizó el cambio en el programa de control del CIP. Este cambio tampoco generó costos de inversión, puesto que sólo era necesario cambiar el volumen suministrado en el panel de control del sistema CIP.

4.5.1.3. Sustitución del Agua Empleada en la Ejecución del CIP

En la sección 4.1.2.1, se explicó que el agua empleada en la preparación de la solución detergente contenía residuos de óxido de hierro, generando la presencia de sólidos suspendidos en la solución detergente al finalizar el CIP. Debido a esto, se propuso el empleo de un agua alternativa a ésta para realizar el CIP, mientras no se solucionara el problema del óxido de hierro en la tubería que suministra dicha agua. El tipo de agua empleada como sustituta fue el agua caliente que se proporciona a la línea de envasado PET. Este cambio permitió la conservación de las propiedades de limpieza de la solución detergente, e impidió que la misma fuera desechada luego de realizar cada CIP.

Evidentemente, el descubrimiento del óxido de hierro en el agua permitirá a la empresa tomar las medidas necesarias para solventar el problema, de manera que se habilite esta agua para su uso normal, sin afectar la solución de soda cáustica.

4.5.1.4. Conservación de la Solución Detergente

Tomando en cuenta lo explicado en la sección 4.3, se determinó que la soda cáustica puede ser reutilizada durante 3 meses, es decir, hasta que se efectúe la limpieza interna del tanque de almacenamiento de detergente, lo que aumentó considerablemente la vida útil del químico.

Estos cambios permitieron generar un ahorro en el consumo de soda cáustica igual a 228 Kg, y también una disminución del consumo de aditivo igual a 2,28 Kg por cada CIP, tal y como se expuso en las Tablas N° 27 y 28 de la sección 4.3. El ahorro de estas sustancias se tradujo en una reducción de los costos igual a 454,06 Bs.F/CIP.

Considerando que el consumo de Soda Cáustica por cada CIP era de 235,6 Kg, se tiene que el ahorro generado mediante este estudio fue igual al 96,8%.

4.5.1.5. Adiestramiento de los Operadores del Sistema

En vista de que se determinaron situaciones en las que el consumo de los químicos se vio aumentado debido a deficiencias en la manipulación del programa de control del sistema, se planteó a la empresa la realización de charlas que permitan reforzar el conocimiento del sistema por parte de los operadores, con el fin de evitar situaciones que acarreen altos costos de operación por fallas humanas, o incluso el deterioro de los equipos.

4.5.1.6. Implementación de un de Registro de las Variables del Sistema

Durante la realización de la investigación se detectó la necesidad de registrar los valores de las variables que afectan el proceso de limpieza. Esto se debe a la dificultad de mantener un monitoreo continuo del desempeño del CIP, por lo que se requiere que las variables queden registradas en un histórico del programa que controla el sistema, de tal manera que los mismos puedan ser consultados en cualquier momento por el personal calificado para evaluar el CIP. Esto permite determinar si las variables se encuentran fuera de los rangos de especificación, y así realizar las modificaciones pertinentes en el sistema para evitar el consumo excesivo de las sustancias de limpieza.

Esta propuesta fue planteada a la empresa y la misma fue llevada a cabo por el proveedor del sistema CIP. No hubo costos de inversión asociados a la propuesta, ya que la línea de envasado PET se encuentra bajo garantía por haber sido instalada recientemente.

4.5.2. Propuestas de Mejora Asociadas al Consumo de Oxonia

Las propuestas que permitirán obtener un ahorro en el consumo de Oxonia se presentan a continuación:

4.5.1.1. Disminución de la Cantidad de Oxonia Dosificada por la Bomba

En la sección 4.1.1.2, se expuso que la bomba dosificadora de Oxonia se encontraba mal graduada. Este problema fue planteado a la empresa y el cambio de la cantidad dosificada fue realizado en base a los cálculos efectuados anteriormente. Considerando que la bomba se encontraba dosificando 774,3 Kg/h y el flujo requerido era de 222,2 Kg/h, el suministro de Oxonia era 552,1 Kg/h mayor al requerido.

Tomando en cuenta que el tiempo de circulación de Oxonia es de 22 minutos, y el costo del químico es de 10,96 Bs.F/Kg, se generó un ahorro igual a 191,77 Kg que equivalen a Bs.F 2218,71 por cada CIP realizado. En este caso, el porcentaje de ahorro generado fue igual a 71,3% con respecto al consumo que había al comienzo de esta investigación.

Al igual que en el caso del detergente, es necesario implementar un sistema que bloquee la perilla donde se gradúa la cantidad de Oxonia que se dosifica al sistema, a fin de evitar que la dosificación sea manipulada sin previo acuerdo con la Gerencia de Calidad de la empresa.

4.5.1.2. Instalación de un Contador de Litros a Dosificar de Oxonia

Se propuso la instalación de un contador de Oxonia luego de la bomba que dosifica el químico al sistema, con la finalidad de garantizar que se dosifique la cantidad adecuada de desinfectante. El instrumento consta de un contador por pulsos, que indica la cantidad de Oxonia que ha sido suministrada al sistema. Este puede ser conectado al sistema de control del proceso, de manera que si detecta una dosificación mayor o menor a la requerida, el sistema enciende una alarma que detiene el proceso para indicar al operador que se está produciendo una falla.

Este instrumento posee una tecnología sencilla que permite ser instalado por cualquier mecánico de la planta y además es económico, por lo que la empresa efectuó la instalación del mismo a fines del mes de Octubre.

4.5.1.3. Modificación del Sistema de Dosificación de Oxonia

Anteriormente, en la sección 4.1.2.2, se explicó que el sistema de dosificación de Oxonia se compone de una bomba conectada al contenedor de Oxonia, mediante una manguera extraíble que permite la succión del químico. Esta instalación se puede observar en la Figura N° 40.



Figura N° 40. Contenedor de Oxonia y Manguera de Succión.

Como se mencionó anteriormente, la operación de reemplazo del tambor no siempre es efectuada cada vez que es necesaria, por lo que la etapa de desinfección podría iniciar con el nivel del tambor por debajo del requerido. De esta forma el contenido del tambor es consumido completamente, pero el proceso continúa solicitando Oxonia, por lo que la alarma del contador de Oxonia detiene el sistema hasta reemplazar el contenedor. Una vez realizado esto, el sistema reinicia la etapa de desinfección y se vuelve a dosificar la misma cantidad de Oxonia, asumiendo que el proceso anterior nunca ocurrió, generando un aumento de aproximadamente el doble del consumo establecido de desinfectante. Por lo tanto, se buscó una alternativa económica para reducir el número de veces que podría presentarse esa situación. Básicamente, la alternativa consistió en emplear 4 contenedores de Oxonia al mismo

tiempo, en vez de uno, con la finalidad de que la bomba succione la misma cantidad de los 4 tambores a la vez. De esta forma, la frecuencia de cambio del contenedor sería reducida 4 veces y los operadores tendrían mayor disponibilidad de tiempo para hacer la solicitud del químico al almacén de la empresa. La siguiente imagen muestra un esquema de la instalación planteada:

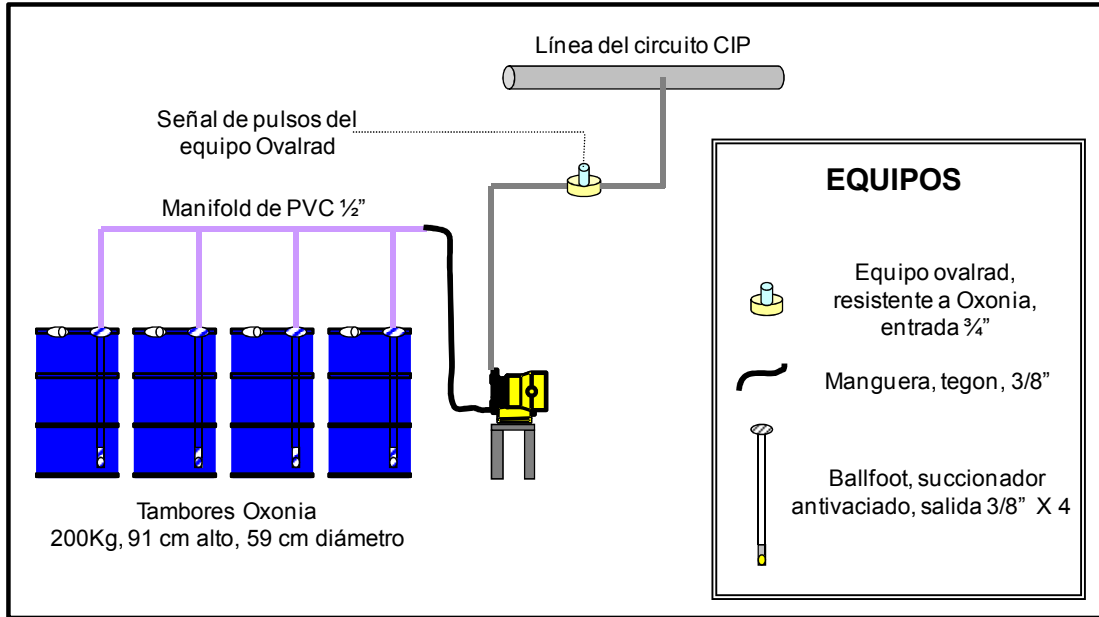


Figura N° 41. Instalación Propuesta para la Dosificación de Oxonia.

Esta instalación disminuiría notoriamente el riesgo de consumir más desinfectante del requerido, y la inversión necesaria sería el costo del *manifold* de PVC para conectar los 4 contenedores, y 3 succionadores anti vaciado para los 3 tambores nuevos. Estos materiales son económicos y se encuentran disponibles en el almacén de la empresa.

4.5.3. Propuestas de Mejora Asociadas al Consumo de Agua

Seguidamente se muestran las propuestas que permitirán un ahorro en el consumo del agua empleada en el CIP.

4.5.3.1. Disminución de los Tiempos de Operación de cada uno de los Enjuagues del CIP

El consumo de agua en el CIP está directamente relacionado con los tiempos de circulación establecidos para cada uno de los enjuagues. Por lo tanto, los valores óptimos de enjuague calculados en la sección 4.2 deben adaptarse a los tiempos de enjuague recomendados en la sección 4.1.1.5. La Tabla N° 32, presenta estos valores y los tiempos relacionados al consumo óptimo de agua, tomando en cuenta que la media de flujo en el proceso es de 31,2 m³/h.

Tabla N° 32. Consumo óptimo por enjuague del CIP y tiempos asociados.

Etapa	Consumo Óptimo (m ³)	Tiempo Equivalente al Consumo Óptimo (min)	Tiempo Recomendado (min)
Enjuague Inicial	7,15	13,8	13
Enjuague Intermedio	7,16	13,8	18
Enjuague Final	7,37	14,2	13

En la Tabla N° 32, se puede apreciar que los tiempos equivalentes al consumo óptimo de agua calculado, son mayores que los tiempos recomendados para el caso del enjuague inicial y final. Esto se debe a que los volúmenes óptimos son valores teóricos, los cuales se calcularon en base a la capacidad total del sistema. Sin embargo, durante el CIP las tuberías no son llenadas hasta el 100 % de su capacidad, ya que esto impide el efecto mecánico requerido para remover la suciedad. Por lo tanto, el volumen real requerido en cada enjuague es un poco menor que el volumen calculado teóricamente.

Para el caso del enjuague intermedio, se puede observar en la Tabla N° 32, que el tiempo recomendado es mucho mayor que el tiempo equivalente al consumo óptimo de agua. La razón de esto es que durante el enjuague intermedio no basta con que el agua retorne al sistema CIP, sino que es necesario lograr la remoción del detergente y la disminución de la temperatura del sistema, por lo que se requiere una cantidad mayor de agua. En la Figura N° 25, se demostró que ambas condiciones se cumplen a

los 18 minutos de circulación de agua y en base a ello, se recomendó dicho valor como tiempo mínimo de operación para esa etapa.

En función a todo lo expuesto, el volumen real de agua que debe emplearse en cada uno de los enjuagues se calcula en base a los tiempos de circulación recomendados y la media de flujo del proceso ($31,2 \text{ m}^3/\text{h}$). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla N° 33 y los mismos se comparan al consumo actual (determinado en la sección 4.2.2). Además, se muestra el ahorro de agua que generaría la aplicación de estos tiempos en el proceso.

Tabla N° 33. Consumo Ideal de Agua en cada etapa del CIP y ahorros asociados.

Etapa	Consumo Actual (m^3)	Consumo Ideal (m^3)	Ahorro (m^3)
Enjuague Inicial	11,84	6,76	5,08
Enjuague Intermedio	13,63	9,36	4,27
Enjuague Final	14,38	6,76	7,62
TOTAL	39,85	22,88	16,97

Considerando que el costo del agua es de $2,30 \text{ Bs.F}/\text{m}^3$, el ahorro en costos para la empresa sería igual a Bs.F 39,03 por cada CIP realizado. Esta propuesta no posee ningún tipo de limitación en cuanto a la implementación en la empresa, ya que únicamente habría que cambiar el *Set Point* de los tiempos establecidos para cada enjuague, lo cual es una operación sencilla que puede ser realizada por el operador del sistema.

4.5.3.2. Recuperación del Enjuague Final del CIP

El enjuague final del CIP es realizado una vez que el sistema se encuentra limpio y desinfectado, por lo que no existe riesgo de que el agua empleada en esta etapa se contamine con residuos de suciedad o microorganismos. En base a esto, el agua del último enjuague puede ser recuperada y enviada al tanque de almacenamiento, para ser empleada posteriormente en el enjuague inicial del próximo CIP.

La recuperación del agua de este enjuague es perfectamente factible de implementar en el sistema, puesto que solo sería necesario realizar algunas modificaciones en la lógica del programa que controla el CIP. Estos cambios serían efectuados por el personal de la empresa proveedora del sistema CIP y no existirían gastos de inversión asociados, debido a la garantía del sistema.

Lamentablemente, la capacidad del tanque de almacenamiento presente en el sistema es de 3 m³, así que únicamente podría recuperarse ese volumen de agua. Por lo tanto, el ahorro económico asociado a este cambio sería de Bs.F 6,9 por CIP realizado.

4.5.3.3. Disminución del Consumo de Agua Empleada en la Preparación de la Solución Detergente

Adicionalmente a las dos propuestas realizadas para disminuir el consumo de agua en los enjuagues, se debe tener en cuenta que antes de realizar las modificaciones planteadas en la sección 4.1.1.1, el tanque de almacenamiento de soda cáustica era vaciado completamente luego de realizar cada CIP, ya que la solución poseía un alto contenido de sólidos en suspensión. Esto generaba un aumento en el consumo de agua, ya que esta es empleada para preparar la solución detergente.

Como se mencionó anteriormente, el tanque de soda cáustica contenía aproximadamente 7600 L de solución al 3,1 % p/p antes de iniciar el CIP (ver sección 4.3.4). Considerando que la densidad de la soda cáustica es aproximadamente 1 Kg/L a las concentraciones empleadas, se tiene que la cantidad de solvente presente (agua) era de 7364 L (7,36 m³).

A través de la disminución del consumo de soda cáustica, se pudo lograr un ahorro en el consumo de agua, ya que la solución detergente ahora puede ser reutilizada durante un período de tres meses, siempre y cuando el agua empleada en la preparación de la solución no presente agentes contaminantes. En tal sentido, se tendría un ahorro de agua de 7,36 m³ por cada CIP realizado, que equivalen a una disminución de los costos de Bs.F 16,93.

El ahorro total de agua generado en base a las propuestas realizadas, se muestra en la Tabla N° 34.

Tabla N° 34. Ahorro total de agua en el sistema CIP.

Ahorro en Volumen (m ³)	Ahorro (Bs.F)
27,33	62,86

Teniendo en cuenta que el consumo actual de agua en el sistema es de 47,21 m³, la oportunidad de ahorro presentada en la Tabla N° 34 sería igual al 57,9% de disminución en el consumo de agua.

4.5.4. Propuestas de Mejora Asociadas a la Disminución de Tiempos de Operación

La propuesta de mejora asociada a la disminución del tiempo de operación del CIP, fue detallada en la sección 4.1.1.5. La implementación de los tiempos expuestos en la Tabla N° 13, se traducirían en una reducción del tiempo igual a 27 minutos, que equivalen a una disminución del 19,1 % del tiempo de operación del CIP.

Se debe señalar que estos 27 minutos representan un aumento en la productividad de la línea de envasado.

En cuanto a la factibilidad de disminuir estos tiempos en el sistema, simplemente habría que cambiar los valores de operación en el programa de control del CIP, lo cual, como se mencionó anteriormente, es un procedimiento sencillo y realizable por cualquier operador del sistema.

4.5.5. Oportunidad Total de Ahorro en el Sistema

En esta sección se totalizaron las posibilidades de ahorro permitidas por las propuestas planteadas en esta investigación, obteniéndose como resultado la disminución de costos que se muestra en la Tabla N° 35.

Tabla N° 35. Disminución de costos en base a las propuestas planteadas.

Causa	Ahorro (Bs.F)
Consumo Soda Cáustica y Aditivo	454,06
Consumo Oxonia	2218,71
Consumo Agua	62,86
TOTAL	2735,63

En la Tabla N° 35 se puede apreciar que las propuestas generarían una disminución de Bs.F 2735,63 por cada CIP realizado. Considerando que el CIP se realiza dos veces por semana, se tendría un ahorro mensual igual a Bs.F 21885,04, equivalentes a Bs.F 262620,48 anuales.

Cabe destacar que el ahorro calculado para cada uno de las sustancias evaluadas así como para los tiempos, no involucra las reducciones que se obtendrían en caso de emplear el procedimiento Advantis (ver sección 4.4), ya que es necesario realizar pruebas en laboratorio y en campo que permitan estimar el consumo de Soda Cáustica y Oxonia por cada CIP, así como también evaluar la eficiencia de la limpieza que brinda este procedimiento.

CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones obtenidas en el desarrollo de esta investigación, una vez discutidos cada uno de los estudios y análisis realizados para cumplimiento de los objetivos propuestos.

- Las modificaciones realizadas al sistema permitieron el control estadístico de la concentración de soda cáustica y Oxonia.
- La temperatura de operación de las soluciones químicas empleadas en el sistema, se encuentra bajo control estadístico.
- Se determinó una oportunidad de disminuir el tiempo de operación del CIP en 27 minutos.
- Los principales problemas asociados al consumo de soda cáustica son el alto contenido de sólidos en suspensión dentro de la solución, el desajuste del programa de control del CIP y la falta de adiestramiento de los operadores del sistema.
- Los principales problemas asociados al consumo de Oxonia son el desajuste de la bomba dosificadora, las deficiencias del sistema de dosificación y la falta de supervisión de los operadores.
- El consumo de agua del sistema supera los valores requeridos por el mismo, generando un incremento en los gastos para la empresa y en los tiempos de operación del CIP.
- La única variable que afecta la vida útil de la soda cáustica empleada en el sistema CIP de la línea de envasado PET, es el contenido de sólidos en suspensión provenientes del agua filtrada.
- La eliminación del óxido de hierro presente en el agua del CIP, permitirá extender la vida útil de la soda cáustica hasta 3 meses.
- La implementación del procedimiento Advantis podría significar ahorros considerables en cuanto a consumo de agua, energía y químicos, además de

la reducción de los tiempos operativos del proceso CIP realizado en la empresa.

- En el sistema en estudio se determinó que las oportunidades de ahorro eran de 96,8 % para la soda cáustica, 71,3% para la Oxonia, 57,9% para el agua y 19,1% para el tiempo de operación. Lo que representa un ahorro total de 2735,63 Bs.F/CIP, equivalentes a Bs.F 262620,48 anuales.

RECOMENDACIONES

En esta sección se presentan las recomendaciones que pueden ser consideradas en los próximos trabajos de investigación referentes al estudio del sistema de limpieza en sitio (CIP), y los respectivos detergentes y desinfectantes empleados en la empresa.

- Realizar un estudio que permita determinar o establecer una norma para la cantidad de sólidos en suspensión permitidos dentro de la solución detergente, sin que los mismos disminuyan el efecto limpiador de este, ni causen daños al sistema de limpieza CIP.
- Evaluar la necesidad de aumentar la velocidad de operación de la bomba de suministro del CIP a 3500 rpm, para garantizar el efecto mecánico en la tubería de 100 mm de diámetro.
- Realizar una prueba en laboratorio donde se simule el proceso de limpieza CIP, empleando el procedimiento Advantis, a fin de verificar la eficiencia de la limpieza y la desinfección del mismo. En caso de que esta prueba arroje resultados positivos para la empresa, será necesario efectuar una prueba en campo, donde se evalúen estos factores y se comparen los resultados obtenidos con el proceso de limpieza empleado actualmente. Además, se debe llevar a cabo un estudio económico, que permita determinar los costos de inversión y manufactura para la empresa si se llegara a emplear esta técnica.
- Estudiar la posibilidad de realizar el CIP con una mezcla de Soda Cáustica y otro desinfectante alternativo a la Oxonia, con el objetivo de determinar cuál de estas mezclas se ajustaría de mejor manera a las necesidades de la empresa.
- Estudiar la factibilidad de sustituir el tanque de almacenamiento de agua actual, por uno de mayor capacidad que permita recuperar completamente el agua del enjuague final del CIP.

BIBLIOGRAFÍA

Bouix, M., Leveau, J. (2002). Manual Técnico de Higiene, Limpieza y Desinfección. Mundi Prensa. España. 623 p.

Campbell, I., Priest, F. (2003). Brewing Microbiology. 3ra ed. Editorial Springer. USA. 399 p.

Cervecería Polar. (2009). Taller de Limpieza CIP. Venezuela.

Cervecería Polar. (2008). Manual de Envasado de Cerveza y Malta. Venezuela.

Cervecería Polar. (1994). Manual de Higiene en la Industria Cervecera. Módulo: Llenadora. Venezuela.

Dumont, C. (2007). La Química de la Limpieza y Desinfección. Ecolab. Venezuela. 70 p.

Expósito, A., Simons, B. (2007). Cleaning in Place en Líneas de Elaboración de una Planta de Cerveza y Malta. Trabajo Especial de Postgrado. Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.

Felder, R., Rousseau, R. (1999). Principios Elementales de los Procesos Químicos. 2da ed. Addison-Wesley Iberoamericana. México. 675 p.

Flückiger, E. (1977). Problem der Reinigung und Desinfektion lebensmittel verarbeitender Anlagen. Lebensmitteltechnologie. Alemania. 146 p.

Folgar, O. (2000). Buenas Prácticas de Manufactura. Ediciones Macchi. España. 214 p.

Forsythe, S., Hayes, P. (1999). Higiene de los Alimentos, Microbiología y HACCP. 2da ed. Editorial Acribia. España. 489 p.

Giese, J. (1991). Sanitation: The Key to Food Safety and Public Health. Food Technology, XLV (12): 74-80.

Hornsey, I. (1999). Brewing. 2da ed. Springer. New York. 231 p.

Hurtado, A. (2004). Sistemas de Limpieza y Seguridad de los Alimentos. [Página Web en Línea]. Disponible: <http://www.consumaseguridad.com/web/es/investigacion/2004/10/27/15009.php> [Consulta: 2009, junio 06]

Hyde, J. (1997). Clean-In-Place Technology: Principles, Practices and Validation. CRC Press. USA. 275 p.

ISO 9001. (2008). Sistemas de Gestión de Calidad. Requisitos. Geneva.

Johnson, R. (1997). Probabilidad y Estadística para Ingenieros de Miller y Freund. 5ta ed. Prentice Hall. México. 630 p.

Kunze, W. (2004). Technology Brewing and Malting. 3ra ed. VLB Berlin. Germany. 949 p.

Lelieveld, H. (2003). Hygiene in Food Processing. Woodhead Publishing. USA. 392 p.

Lewis, M., Young, T. (2002). Brewing. 2da ed. Springer. New York. 398 p.

López, L., Romero, J. (2007). Soluciones Detergentes de los Sistemas CIP en el Área de Elaboración de Cervecería Polar, C.A. Trabajo Especial de Postgrado. Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.

Marriot, N. (2006). Principles of Food Sanitation. 5ta ed. Aspen Publishers, Inc. USA. 364 p.

McCabe, W., Smith, J. (1998). Operaciones Básicas de Ingeniería Química. 4ta ed. Reverté S.A. España. 1112 p.

Montgomery, D. (2005). Introduction to Statistical Quality Control. 5ta ed. USA. John Wiley & Sons, Inc. 759 p.

Mott, R. (2006). Mecánica de Fluidos. 6ta ed. Prentice Hall, México. 625 p.

Romney, A. (1990). CIP: Cleaning in Place. 2da ed. CRC Press. USA. 224 p.
Sistemas de Gestión de Calidad. Fundamentos y Vocabulario. (2008). ISO 9000. Geneva.

Tamime, A. (2008). *Cleaning-In-Place: Dairy, Food and Beverage Operations*. 3ra ed. Wiley-Blackwell Pub. USA. 272 p.

Vargas, A. (1995). *Estadística Descriptiva e Inferencial*. Universidad de Castilla-La Mancha. España. 576 p.

Wildbrett, G. (2000). *Limpieza y Desinfección en la Industria Alimentaria*. Editorial Acribia. España. 349 p.

[ANEXO 1]

Tabla de Valores Críticos para la Prueba Q de Dixon al 99% de Confianza**Tabla N° 36.** Tabla de Valores para Prueba Q (Johnson, 1997).

n	Q crit
3	0,970
4	0,829
5	0,710
6	0,625
7	0,568
8	0,526
9	0,493
10	0,466
15	0,384
20	0,342
25	0,317
30	0,298

[ANEXO 2]

Datos Relacionados al Cálculo de la Curva del Sistema

Tabla N° 37. Datos Curva Característica del Sistema.

DN (mm)	L (m)	Delta Z (m)	Codo 45°	Codo 90°	Tee	Val. M	Val. Doble A	Expansión
65	8,92	5,81	4	11	2	2	-	1
80	-		-	-	-	-	-	
100	446,50		7	47	3	3	5	

Tabla N° 38. Resultados Curva Característica del Sistema.

Caudal (m ³ /h)	Cabezal (m)
0	22,4
5	23,2
10	24,9
15	27,5
20	30,8
25	35,4
30	41,2
35	47,8
40	55,3
45	63,4
50	71,8

[ANEXO 3]

Datos Recolectados para el Flujo del Sistema en los Diferentes Diámetros

Tabla N° 39. Flujos de Operación del CIP.

Fecha	F (m ³ /h) 65 mm	F (m ³ /h) 80 mm	F (m ³ /h) 100 mm
25-jun	31,60	38,00	31,60
08-jul	32,00	37,10	32,00
14-jul	30,20	37,28	30,20
21-jul	31,40	37,64	31,40
27-jul	31,90	37,64	31,90
05-ago	30,60	37,46	30,60
12-ago	32,00	38,00	32,00
19-ago	31,00	37,82	31,00
26-ago	30,90	37,28	30,90
02-sep	30,40	37,46	30,40
09-sep	31,30	37,28	31,30
16-sep	31,40	37,82	31,40
23-sep	31,10	37,82	31,10
28-sep	31,30	37,64	31,30
01-oct	30,60	37,46	30,60
07-oct	31,00	38,00	31,00
15-oct	31,30	37,28	31,30
21-oct	31,00	38,00	31,00
28-oct	30,50	38,36	30,50
04-nov	31,90	38,18	31,90
11-nov	30,50	37,28	30,50
18-nov	30,90	38,36	30,90
25-nov	30,70	38,54	30,70
09-dic	30,20	38,00	30,20
29-dic	32,10	38,00	32,10
30-dic	31,90	38,00	31,90
18-ene	31,30	38,18	31,30
27-ene	32,00	38,18	32,00
30-ene	30,60	37,46	30,60
01-feb	31,80	37,82	31,80
04-feb	32,00	37,64	32,00
06-feb	30,70	38,36	30,70
08-feb	31,00	38,00	31,00
11-feb	30,90	38,00	30,90
12-feb	31,70	38,00	31,70
17-feb	31,00	38,00	31,00
23-feb	31,00	37,64	31,00
03-mar	31,10	38,00	31,10
06-mar	31,80	38,00	31,80
08-mar	30,70	37,64	30,70
11-mar	31,10	37,64	31,10
15-mar	31,80	37,64	31,80
24-mar	30,50	38,18	30,50

[ANEXO 4]

Datos Recolectados para Temperaturas de Operación de Soda Cáustica y Oxonia

Tabla N° 40. Temperaturas de Operación.

Fecha	Soda Cáustida (°C)	Oxonia (°C)
25-jun	78,2	31,0
08-jul	77,8	25,8
14-jul	76,7	26,1
21-jul	78,3	26,1
27-jul	75,9	30,6
05-ago	76,4	25,0
12-ago	76,8	28,3
19-ago	76,1	29,9
26-ago	78,7	31,5
02-sep	78,4	30,4
09-sep	75,1	32,1
16-sep	74,5	29,4
23-sep	78,1	29,6
28-sep	79,5	30,8
01-oct	76,8	32,6
07-oct	78,4	32,5
15-oct	77,3	31,2
21-oct	76,2	32,7
28-oct	75,9	30,7
04-nov	78,5	29,0
11-nov	76,1	31,3
18-nov	75,8	30,4
25-nov	77,6	31,8
09-dic	78,1	29,7
29-dic	78,6	26,8
30-dic	77,9	28,3
18-ene	75,4	30,1
27-ene	76,2	27,4
30-ene	77,6	28,9
01-feb	78,4	28,7
04-feb	78,1	29,4
06-feb	76,3	30,3
08-feb	78,2	30,6
11-feb	78,3	31,5
12-feb	78,3	31,0
17-feb	78,4	31,8
23-feb	77,2	27,6
03-mar	78,9	30,8
06-mar	78,4	26,8
08-mar	78,5	26,4
11-mar	76,4	27,3
15-mar	77,8	28,7
24-mar	78,7	29,9

[ANEXO 5]

Datos Recolectados para Concentraciones de Soda Cáustica y Oxonia**Tabla N° 41.** Concentración de Químicos de Limpieza.

Fecha	Soda Cáustica (% p/p)	Oxonia (% p/p)
25-jun	3,31	1,96
08-jul	3,24	1,98
14-jul	3,25	1,53
21-jul	3,32	1,76
27-jul	3,46	1,48
05-ago	2,28	1,91
12-ago	3,05	1,74
19-ago	2,82	1,87
26-ago	3,10	2,13
02-sep	2,96	1,84
09-sep	3,30	1,26
16-sep	3,11	1,62
23-sep	3,49	1,44
28-sep	2,82	1,49
01-oct	2,74	1,67
07-oct	3,07	1,02
15-oct	3,11	1,73
21-oct	1,71	1,41
28-oct	1,61	0,58
04-nov	1,60	0,54
11-nov	1,53	0,53
18-nov	1,64	0,52
25-nov	1,51	0,56
09-dic	1,72	0,58
29-dic	1,65	0,54
30-dic	1,57	0,52
18-ene	1,98	0,54
27-ene	1,71	0,56
30-ene	1,60	0,55
01-feb	1,96	0,50
04-feb	1,56	0,52
06-feb	1,52	0,54
08-feb	1,68	0,52
11-feb	1,60	0,55
12-feb	1,69	0,51
17-feb	1,55	0,53
23-feb	1,56	0,53
03-mar	1,53	0,56
06-mar	1,59	0,54
08-mar	1,60	0,52
11-mar	1,54	0,53
15-mar	1,71	0,52
24-mar	1,63	0,56