

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA EN UNA INDUSTRIA CERVECERA.

TUTOR ACADÉMICO: Prof. María Virginia Najul

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Augusto Báez

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Santiago A., José R.
Para optar al Título
de Ingeniero Químico

Caracas, junio 2007



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA



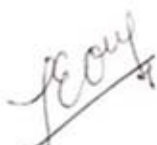
ACTA
MENCIÓN HONORÍFICA

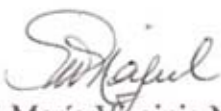
Los abajo firmantes, miembros del Jurado Examinador del Trabajo Especial de Grado: **“ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA EN UNA INDUSTRIA CERVECERA”**, presentado por el Br. José Rafael Santiago Ascanio, queremos dejar constancia del nivel del trabajo realizado, en cuanto a su ejecución, presentación y aplicación, por lo cual ameritó la asignación de la máxima calificación de **VEINTE PUNTOS (20)**.

Asimismo, en reconocimiento a la excelencia del trabajo realizado, pionero en la industria cervecera venezolana, por la aplicación de ingeniosas estrategias de ahorro de agua, de fácil e inmediata aplicación, sin afectar la calidad del producto y rendimiento del proceso, lo que constituye un importante aporte en la inserción de la variable ambiental, como parte de la gestión integral empresarial, decidimos por unanimidad concederle **MENCIÓN HONORÍFICA**.

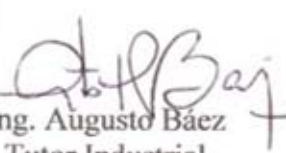
En fe de lo cual se levanta la presente acta, a los veinte días del mes de junio de dos mil siete.


Prof. Francisco Yáñez
Jurado


Prof. Leonardo Oropeza
Jurado


Prof. María Virginia Najul
Tutora Académica




Ing. Augusto Báez
Tutor Industrial

Caracas, junio de 2007

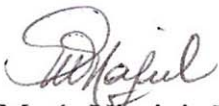
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller José Rafael Santiago Ascanio, titulado:

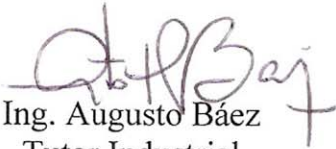
“Estrategias para la Reducción del Consumo de Agua en una Industria Cervecera”

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. Francisco Yáñez
Jurado


Prof. Leonardo Oropeza
Jurado


Prof. María Virginia Najul
Tutor Académico


Ing. Augusto Báez
Tutor Industrial



Santiago A., José R.
ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA EN
UNA INDUSTRIA CERVECERA.

Tutor Académico: Prof. María V. Najul. Tutor Industrial: Ing. Augusto Báez.

Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

Año 2007, 157 páginas.

Palabras Claves: Producción limpia, ahorro de agua, reutilización de efluentes,
industria cervecera.

Resumen. En la actualidad las industrias que enfrentan el reto alcanzar una mayor eficiencia en sus procesos productivos, de manera de ajustar el consumo de materias primas e insumos; además, de reducir o eliminar la generación de efluentes, con miras a ser cada vez más competitivas y ambientalmente compatibles

Bajo este marco, el presente trabajo tiene por objeto identificar y aplicar estrategias basados en los principios de Producción más Limpia, que permitan ajustar los consumos directos de agua y minimizar o reutilizar efluentes para el caso de estudio en una cervecería venezolana, a fin de reducir su impacto ambiental y sus costos de operación.

A partir del análisis de los registros de consumos globales de la cervecería, se seleccionaron para su estudio las áreas de envasado, servicio de sala de máquina y elaboración. Los parámetros establecidos para su selección fueron la participación sobre el consumo total de agua en la cervecería, presencia de inestabilidad y tendencia al alza a través del tiempo, y registros alejados de los valores referenciales de la empresa y de cervecerías internacionales.

En el área de envasado se analizaron los sistemas de lavado de botellas y pasteurización de cerveza, para el área de servicio de sala de máquina se analizó el sistema de enfriamiento de mosto y almacenamiento de agua caliente, y del área de elaboración se estudió el sistema de lavado de equipos de los procesos de fermentación, maduración y filtración de cerveza.

Las propuestas realizadas para dichos sistemas consisten, en la aplicación de medidas para optimizar la regulación de los consumos de agua en operación, modificar prácticas operacionales y corregir fallas en los sistemas de control.

Por otra parte, se determinó la factibilidad técnico-económica de recolectar para su reutilización, los efluentes de los últimos enjuagues de la limpieza de las llenadoras de botellas.

De esta manera se determinó que la oportunidad de ahorro del consumo de agua en la cervecería es de 45.897 m³/mes, lo que representa un ahorro de 56.505.044 Bs./mes. Esto significa la reducción del índice general de consumo de agua de la cervecería hasta 3,99 hl agua/ hl producto envasado, representando una disminución del 26,5 % con respecto al índice de consumo de agua actual.

DEDICATORIA

Mi tesis de grado se la dedico a Dios, por darme la oportunidad de vivir, salud y la fortaleza para culminar mis estudios.

A mis padres, por darme la vida, brindarme su amor, cariño, comprensión y palabras de aliento.

A mi hermano, por su compañía y su ayuda incondicional.

A toda mi familia, que siempre tengo presente.

A mi abuelos, quienes han formado parte importante de mi vida y siempre tuve su cariño.

A mi primo Manuel, por abrirme las puertas para realizar mi pasantía industrial y tesis de grado.

A la Profesora María Virginia Najul, por ayudarme a dar cuerpo a este trabajo y acompañarme a lo largo de su ejecución.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi Universidad Central de Venezuela, donde tuve la grata oportunidad de desarrollarme como profesional y persona.

A mi tutora académica, la Profesora María Virginia Najul, quien me guió y dio su palabra de animo durante la elaboración de éste trabajo

A mi tutor industrial, el Ingeniero Augusto Báez, por su apoyo y confianza, además de darme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia laboral.

A William Gutiérrez, quien confió en mí y propuso a la Cervecería Polar de Los Cortijos llevar a cabo éste proyecto bajo su jurisdicción.

A todo el personal de Empresas Polar, con la cual tuve el placer de trabajar y compartir su amistad.

A los Profesores de la Facultad de Ingeniería y la Escuela de Ingeniería Química, quienes contribuyeron en mi formación profesional.

A todas las amistades que he cultivado, durante mi paso por la Universidad Central de Venezuela.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO II. MARCO REFERENCIAL	4
PROCESO DE ELABORACIÓN DE CERVEZA.....	4
Producción del Mosto.....	5
Fermentación y Maduración.....	7
Clarificación de la Cerveza.....	10
Estabilización Microbiológica y Envasado de la Cerveza.....	10
REQUERIMIENTOS Y CARACTERÍSTICAS DEL AGUA EN LA	
INDUSTRIA CERVECERA.....	14
Producción del Mosto.....	14
Fermentación y Maduración.....	16
Clarificación de la Cerveza.....	16
Estabilización Microbiológica y Envasado de la Cerveza.....	17
Servicios Auxiliares.....	17
Índice de Langelier.....	19
DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA	
CERVECERA.....	20
TENDENCIAS EN EL MANEJO DE RESIDUOS PARA UN	
DESARROLLO SUSTENTABLE.....	21
PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA.....	23
Antecedentes.....	23

	Pág.
Definición.....	24
Beneficios de la aplicación de la PML.....	25
Descripción y Análisis de la Metodología de Implantación de PML.....	26
ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DE INSUMOS Y CONTROL DE DESCARGAS EN LA INDUSTRIA CERVECERA Y BEBIDAS.....	30
HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN Y OPORTUNIDADES DE AHORRO.....	31
Balance de Masa.....	31
Balance de Energía.....	32
Mediciones Continuas.....	34
Métodos no Convencionales de Determinación de Consumos de Agua.....	35
ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DE INSUMOS Y CONTROL DE DESCARGAS EN LA INDUSTRIA CERVECERA Y BEBIDAS.....	37
EXPERIENCIAS EXITOSAS EN LA IMPLANTACIÓN DE MEDIDAS DE PML PARA EL AHORRO DEL CONSUMO DE AGUA EN INDUSTRIAS CERVECERAS Y BEBIDAS.....	43
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	48
ETAPA 1. DIAGNÓSTICO GENERAL DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL CONSUMO DE AGUA DE LA CERVECERÍA.....	48
ETAPA 2. DIAGNÓSTICO DETALLADO DE LOS SISTEMAS SELECCIONADOS.....	49
ETAPA 3. PROPUESTA DE AHORRO DE AGUA.....	51
ETAPA 4. FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE LAS PROPUESTAS DE AHORRO DE AGUA.....	52
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
DIAGNÓSTICO GENERAL DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL CONSUMO DE AGUA EN LA CERVECERÍA.....	54
Análisis de Consumos Globales y Selección de Áreas de Estudio.....	54

	Pág.
Identificación de Elementos Organizativos y Conformación de Equipos de Trabajo.....	61
DIAGNÓSTICO DETALLADO DE LOS SISTEMAS SELECCIONADOS.....	63
Sistema de Lavado de Botellas.....	63
Sistema de Pasteurización.....	71
Sistema Agua Helada - Enfriamiento de Mosto - Cocimiento.....	80
Sistema de Lavado de Equipos de los Procesos de Fermentación, Maduración y Filtración.....	86
OPORTUNIDADES DE AHORRO DE AGUA Y FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE PROPUESTAS.....	96
Sistema de Lavado de Botellas.....	96
Sistema de Pasteurización.....	115
Sistema Agua Helada - Enfriamiento de Mosto - Cocimiento.....	123
Sistema de Lavado de Equipos de los Procesos de Fermentación, Maduración y Filtración.....	132
ALTERNATIVAS ADICIONALES DE PML PARA EL AHORRO DE AGUA.....	136
Características de los Sistemas y Operaciones Involucradas.....	137
Selección y Cuantificación de Efluentes con Potencial de Recuperación...	138
Caracterización de Muestras Compuestas de los Efluentes.....	139
Factibilidad Técnico - Económica de la Propuesta de Recuperación de Efluentes.....	143
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	148
CONCLUSIONES.....	148
RECOMENDACIONES.....	149
CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA.....	151
CAPÍTULO VII. APÉNDICES.....	154
APÉNDICE A: REGISTROS DE CONSUMO DE AGUA.....	154

	Pág.
APÉNDICE B: REGISTRO DE CARACTERÍSTICAS DE EFLUENTES..	154
APÉNDICE C: DATA UTILIZADA PARA DETERMINAR BALANCE DE MASA Y ENERGÍA EN LOS PASTEURIZADORES.....	155
APÉNDICE D: DATA UTILIZADA PARA LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR UNIDAD DE ÁREA EN LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR	156

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Proceso Productivo de la Cerveza.....	5
Figura 2. Producción de Mosto.....	7
Figura 3. Fermentación y Maduración.....	9
Figura 4. Clarificación de la Cerveza.....	10
Figura 5. Estabilización Microbiológica y Envasado de la Cerveza.....	13
Figura 6. Aforo Químico. Dilución de Volumen de Control.....	35
Figura 7. Índice de Consumo de Agua de la Cervecería.....	56
Figura 8. Índice de Consumo de Agua del Área de Envasado.....	57
Figura 9. Índice de Consumo de Agua del Área de Servicio de Sala de Máquina.....	59
Figura 10. Índice de Consumo de Agua del Área de Elaboración.....	60
Figura 11. Organigrama de la Cervecería.....	62
Figura 12. Diagrama de Flujo de las Lavadoras de botellas.....	64
Figura 13. Caso en Estudio Tanque N° 7.....	68
Figura 14. Volumen de Agua Suave Consumidos por Botellas en las Lavadoras	70
Figura 15. Diagrama de Flujo de los Pasteurizadores de Botellas.....	72
Figura 16. Etapas de Operación de los Túneles de Pasteurización.....	74
Figura 17. Balance de Masa y Energía Condensado Pasteurizador.....	76
Figura 18. Balance de Masa en los Pasteurizadores.....	77
Figura 19. Sistema de Producción de Agua Helada.....	81
Figura 20. Sistema de Enfriamiento de Mosto y Malta.....	82
Figura 21. Sistema de Agua Caliente.....	83
Figura 22. Desbalance Térmico en el Sistema de Agua Helada-Enfriamiento de Mosto- Cocimiento.....	85
Figura 23. Estación de Limpieza CIP.....	87
Figura 24. Logística de Lavado por Cambio de Producto.....	89
Figura 25. Diagrama de Tuberías del Suministro de Agua Filtrada.....	90

	Pág.
Figura 26. Registro del Consumo Agua Filtrada de los Sistemas de Fermentación, Maduración y Filtración.....	92
Figura 27. Control de la Concentración de Soda Tanque N° 7.....	97
Figura 28. Balance de Energía Tanque N° 7.....	98
Figura 29. Caso de Estudio Tanque N° 7.....	99
Figura 30. Ubicación Válvula Neumática Tubería Agua Suave.....	108
Figura 31. Consumo de Agua Suave en la Última Zona de Enjuague.....	111
Figura 32. Área de Transferencia de Calor Intercambiador de Placas de Alcohol.....	128
Figura 33. Sistema de Recuperación PTAB.....	137
Figura 34. Perfil pH Efluentes CIP Largo.....	141
Figura 35. Perfil Conductividad Efluentes CIP Largo.....	141
Figura 36. Propuesta Recuperación de Efluentes CIP Llenadoras de Botellas.....	143

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores Típicos de Consumo y Tipos de Aguas Utilizada en Cervecerías.....	18
Tabla 2. Carga Contaminante de Aguas Residuales de la Industria Cervecera.....	21
Tabla 3. Metodología de Implantación del Programa de PML.....	27
Tabla 4. Estrategias de PML Dirigidas a la Reducción del Consumo de Agua en Cervecerías.....	40
Tabla 5. Experiencias Exitosas en el Ahorro del Consumo de Agua en Industrias Cerveceras y de Bebidas.....	44
Tabla 6. Sistemas Perteneientes a las Áreas Principales de la Cervecería.....	55
Tabla 7. Consumo Mensual Agua Recuperada Tanque N° 7.....	68
Tabla 8. Determinación de los Caudales Puntuales de Agua Suave.....	69
Tabla 9. Determinación de los Caudales Actuales de Agua Suave en Operación.....	69
Tabla 10. Caudal de Agua en las Etapas de Mantenimiento de Temperatura y Pasteurización.....	75
Tabla 11. Consumo de Vapor y Agua Desmineralizada de los Pasteurizadores.....	77
Tabla 12. Pérdidas de Agua en los Pasteurizadores en Operación y Porcentaje de Recuperación.....	78
Tabla 13. Índice de Consumos de Agua en la Etapa de Pasteurización.....	79
Tabla 14. Caudales de Agua Helada para los Intercambiadores de Placas.....	84
Tabla 15. Causas del Desbalance Térmico del Sistema de Agua Helada - Enfriamiento de Mosto – Cocimiento.....	86
Tabla 16. Ejemplo de Programa de Limpieza.....	88
Tabla 17. Frecuencia y Consumo Mínimo de Agua Filtrada por Equipo.....	91
Tabla 18. Ejemplo Programa de Filtración de Productos.....	93

	Pág.
Tabla 19. Consumo de Agua Filtrada en Función de Cambios de Productos.....	94
Tabla 20. Caudales Requeridos para el Control de la Concentración de Soda en el Tanque N° 7.....	98
Tabla 21. Caudales Requeridos para el Control de la Temperatura en el Tanque N° 7.....	100
Tabla 22. Caudales para el Control de Temperatura y Concentración del Tanque N° 7.....	101
Tabla 23. Oportunidades de Ahorro. Optimización del Caudal de Operación Tanque N° 7.....	101
Tabla 24. Oportunidades de Ahorro. Pérdidas de Agua Recuperada Tanque N° 7.....	102
Tabla 25. Potencial Ahorro. Consumo de Agua Recuperada Tanque N° 7.....	103
Tabla 26. Costos de Inversión. Sistema de Control de Temperatura Tanque N° 7.....	104
Tabla 27. Estudio Económico. Sistema de Control de Temperatura Tanque N° 7.....	105
Tabla 28. Costos de Inversión. Placa Orificio y Sistema de Control On- Off Tanque N° 7.....	106
Tabla 29. Estudio Económico. Placa Orificio y Sistema de Control On-Off Tanque N° 7.....	106
Tabla 30. Caudales para el Control de Temperatura y Concentración del Tanque N° 8.....	107
Tabla 31. Oportunidades de Ahorro. Optimización del Caudal de Operación Tanque N° 8.....	107
Tabla 32. Oportunidad de Ahorro. Pérdidas de Agua Suave Lavadora N° 2.....	108
Tabla 33. Potencial Ahorro. Consumo de Agua Suave Tanque N° 8.....	109
Tabla 34. Costos de Inversión Instalación Válvula Neumática Lavadora N° 2.	110
Tabla 35. Estudio Económico. Propuestas Control de Consumo de Agua Suave Tanque N° 8.....	110

	Pág.
Tabla 36. Índice de Consumo de Agua Suave en la Última Zona de Enjuague.....	112
Tabla 37. Oportunidad de Ahorro del Consumo de Agua Suave en la Última Zona de Enjuague.....	113
Tabla 38. Potencial Ahorro. Consumo de Agua Suave Última Zona de Enjuague.....	113
Tabla 39. Costos de Inversión Placa Orificio Última Zona de Enjuague.....	114
Tabla 40. Estudio Económico. Propuesta Placa Orificio Última Zona de Enjuague.....	115
Tabla 41. Tiempo para Puesta a Punto de los Pasteurizadores.....	116
Tabla 42. Datos Pasteurizadores para Etapa de Mantenimiento de Temperatura.....	116
Tabla 43. Oportunidad de Ahorro. Reducción Tiempo de Mantenimiento de Temperatura.....	117
Tabla 44. Ahorro Económico. Reducción del Tiempo de la Etapa de Mantenimiento de Temperatura.....	117
Tabla 45. Oportunidad de Ahorro. Eliminación del Consumo de Agua sin Operación.....	119
Tabla 46. Ahorro Económico. Eliminación del Consumo de Agua de Servicio sin Operación.....	119
Tabla 47. Tiempos de Residencia de los Pasteurizadores.....	121
Tabla 48. Potencial de Ahorro. Disminución del Caudal de Agua de Operación.....	122
Tabla 49. Ahorro Económico. Rebose de los Tanques de Almacenamiento de Agua Caliente.....	124
Tabla 50. Características Técnicas de los Intercambiadores de Calor del Sistema de Agua Helada.....	125
Tabla 51. Caudales Óptimos de Intercambiadores de Agua Helada.....	126

	Pág.
Tabla 52. Caudales Óptimos de Agua Helada para los Intercambiadores de Placas.....	126
Tabla 53. Inversión de Instalación. Válvulas de Globo para Intercambiadores de Amoníaco.....	127
Tabla 54. Resultados para Nueva Configuración Intercambiador de Alcohol...	129
Tabla 55. Oportunidad de Ahorro. Nueva Configuración Intercambiador de Alcohol.....	130
Tabla 56. Oportunidades de Ahorro Programación de Filtración.....	132
Tabla 57. Ahorro Económico. Establecimiento de Orden en la Filtración de Productos.....	133
Tabla 58. Ahorro Económico. Optimización del Enjuague en el Lavado de Equipos.....	135
Tabla 59. Beneficios y Detrimentos de Alternativas Adicionales de PML para el Ahorro de Agua.....	136
Tabla 60. Programas de Limpieza CIP Llenadoras de Botellas.....	138
Tabla 61. Cuantificación de los Efluentes con Potencial de Recuperación.....	139
Tabla 62. Características del Agua Filtrada y Recuperada.....	140
Tabla 63. Características de las Muestras Compuestas.....	142
Tabla 64. Costos de Inversión. Recuperación de Efluentes CIP Llenadoras de Botellas.....	144
Tabla 65. Potenciales de Ahorro en los Sistemas de la Cervecería.....	146
Tabla 66. Registro del Consumo de Agua por Medidores.....	154
Tabla 67. Medición de Caudal y Consumo de Agua en un Proceso u Operación Unitaria.....	154
Tabla 68. Resumen del Consumo de Agua en cada Operación Unitaria por Tipo de Uso.....	154
Tabla 69. Características de Efluentes Líquidos.....	154
Tabla 70. Balance de Masa y Energía del Pasteurizador N° 5.....	155
Tabla 71. Balance de Masa y Energía del Pasteurizador N° 6.....	155

	Pág.
Tabla 72. Registros de Temperatura de Entrada y Salida del Mosto en Intercambiadores de Placas.....	156
Tabla 73. Datos de Operación de los Intercambiadores del Sistema de Agua Helada.....	157

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de la humanidad, la actividad del hombre ha generado residuos sólidos, líquidos y gaseosos, dando origen a la necesidad de crear soluciones para su tratamiento y disposición.

A mediados del siglo XIX con la introducción de cambios tecnológicos como la utilización de la electricidad, de combustibles derivados del petróleo y gas, se dio origen a la revolución industrial, intensificándose el impacto ambiental debido a la gran cantidad de desperdicios generados y la peligrosidad de los mismos.

Sin embargo no es hasta la mitad del siglo XX cuando los cambios en la naturaleza comienzan a generar preocupación a nivel mundial y regional, por lo cual se motivó el estudio del impacto de la actividad del hombre en el equilibrio natural del medio ambiente.

En la década de los 70's, la comunidad científica da a conocer descubrimientos alarmantes, como la destrucción de la capa de ozono, el calentamiento global, la acidificación, la eutrofización, entre otros problemas. Los países comenzaron a manifestarse a través de foros internacionales del medio ambiente, planteándose nuevas obligaciones y condicionamientos a las prácticas de producción y a los hábitos de consumo del ser humano. Se dio un gran impulso a la normativa, pero el gran problema era que se creía que la solución a la contaminación era al final del proceso (CPTS, 2005).

Solo hasta principios de la década de los 90's, se comenzaron a diseñar políticas ambientales con un enfoque, dirigidas a la prevención de la generación de contaminación. A raíz de ello nace uno de los conceptos más importantes en el desarrollo de políticas públicas ambientales como lo es el *Desarrollo Sostenible*, el cual hace referencia al desarrollo que satisfaga las necesidades del presente, fomentando una actividad económica que suministre los bienes necesarios a toda la población mundial, pero pensando en las necesidades del futuro, reduciendo al mínimo los efectos negativos de la actividad económica, tanto en el consumo de

recursos como en la generación de residuos, de tal forma que sean soportables por la próximas generaciones.¹

A raíz de este concepto, se han generado una serie de instrumentos dirigidos al desarrollo y optimización de procesos productivos, tomando en cuenta la variable ambiental, como es el caso de la Producción más Limpia (PML).

Esta consiste en la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada, en los procesos productivos, los productos y los servicios, para reducir los riesgos relevantes a los humanos y al medio ambiente. Su implementación ha demostrado mayor efectividad desde el punto de vista económico y coherencia desde el punto de vista ambiental, en comparación con los métodos tradicionales de tratamiento “al final del proceso”, lo que finalmente hace que las empresas sean más competitivas.

En la industria cervecera los principales recursos consumidos en el proceso de elaboración de cerveza son el agua, la energía eléctrica y térmica, así como el consumo de materiales. Los aspectos ambientales más significativos asociados a emisiones son la generación de líquidos residuales y de residuos sólidos tales como nepe, levadura, tierra diatomea, vidrio entre otros. (Canales, 2003).

También deben considerarse las emisiones atmosféricas (CO_2 , NO_x , NH_3 y partículas en forma de polvo de malta) y la generación de ruido y olores, aunque los parámetros contaminantes de estos tres últimos aspectos tienen menor relevancia en términos generales en comparación con los anteriores (ob. cit.).

Los programas de PML llevados a cabo en cervecerías a nivel internacional, permiten concluir que la implementación de las estrategias de reducción de consumo de agua resultan ser más sencillas, con menores requerimientos de inversión y con resultados a más corto plazo que las de reducción del consumo de energía, de aguas residuales y emisiones atmosféricas.

Con base en lo anterior, la Cervecería Polar C.A. Los Cortijos ha decidido llevar a cabo un proyecto de identificación y aplicación de estrategias basados en los principios de la PML, que permitan ajustar los consumos directos de agua y

¹ <http://www.tecnun.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/14PolEcSoc/140DesSost.htm>

minimizar o reutilizar efluentes, a fin de reducir su impacto al ambiente, así como los costos de operación.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Objetivo general

Evaluar estrategias para la reducción del consumo de agua en la Cervecería Polar C.A., Los Cortijos, orientadas a incrementar su eficiencia y mejorar su desempeño ambiental.

Objetivos Específicos

- a) Identificar y cuantificar el consumo de agua en las diferentes áreas de la planta y sistemas asociados.
- b) Con base en resultados de experiencias exitosas y siguiendo los principios de Producción más Limpia, identificar puntos o sectores con factibilidad de ahorro del consumo directo de aguas o reducción /reutilización de efluentes.
- c) Evaluar la factibilidad de implantación de estrategias de ahorro del consumo directo de aguas o la reducción/reutilización de efluentes para cada una de las áreas estudiadas y analizar su impacto en la reducción en los índices de consumo de agua.

Este trabajo se realizó en forma conjunta con la bachiller Keith Vergara, estudiante de Ingeniería Química de la Universidad Simón Bolívar, en el desarrollo de su pasantía larga para optar al título de Ingeniero Químico.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

PROCESO DE ELABORACIÓN DE CERVEZA

La producción de cerveza se puede definir como la combinación de procesos de preparación de bebidas provenientes de la infusión de granos germinados y la subsiguiente fermentación de la solución azucarada producida gracias a la acción de las levaduras, donde parte de los carbohidratos se convierten en etanol y dióxido de carbono (Hornsey, 1999)

Las materias primas para la producción de cerveza son agua, cebada malteada, adjuntos (principalmente maíz y arroz), lúpulo y levadura

En función del tipo de fermentación, el amplio abanico de variedades de cerveza se puede reducir a dos grandes grupos: (ob. cit)

- a) *Cervezas de fermentación baja “tipo lager”*: se utiliza fundamentalmente levadura del género *Saccharomyces uvarum*, que se deposita en el fondo de los depósitos tras la fermentación. La fermentación tiene lugar a temperaturas comprendidas entre 8 y 14 °C.
- b) *Cervezas de fermentación alta “tipo ale”*: se utiliza levadura del género *Saccharomyces cerevisiae*. Este tipo de levaduras tiende a ascender a la superficie durante la fermentación. El proceso de fermentación tiene lugar normalmente a temperaturas comprendidas entre 15 y 25 °C.

La figura 1 muestra el diagrama de bloques del proceso productivo de la cerveza, para orientar la descripción de cada una de las etapas que lo conforman, destacando donde corresponda, el consumo de agua, materias primas y efluentes. La comprensión del proceso resulta fundamental para identificar las oportunidades de ahorro directo y/o recuperación de agua.

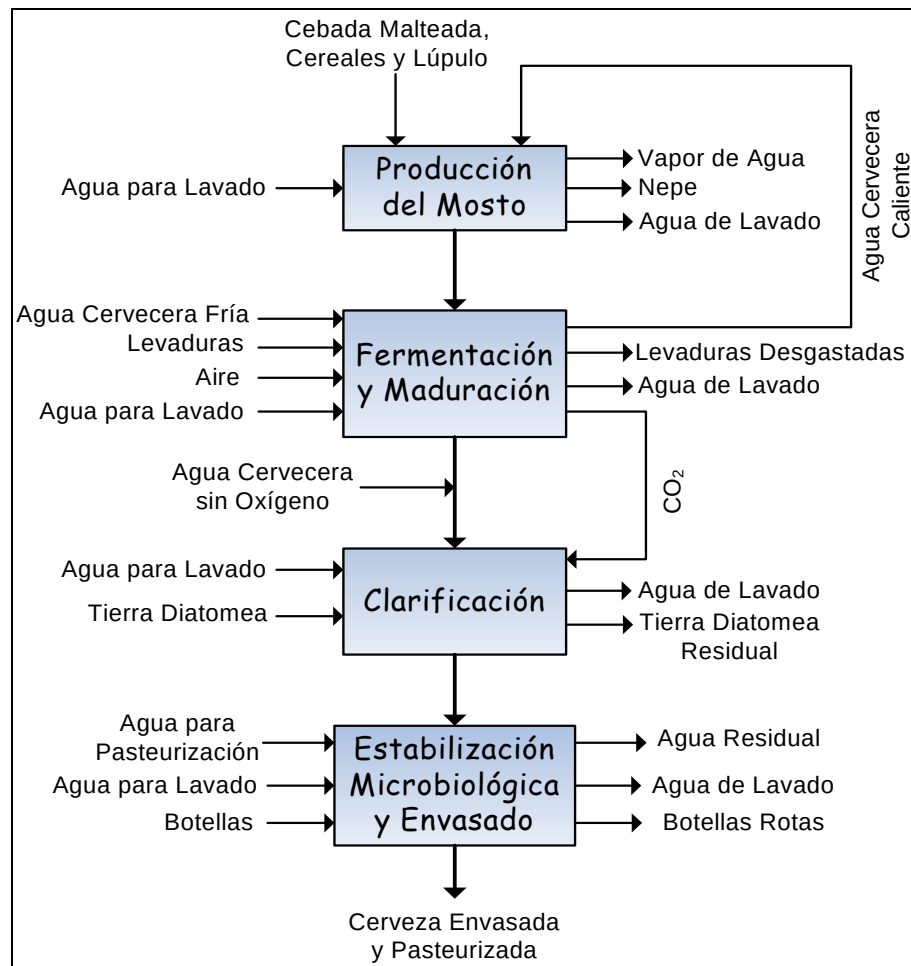


Figura 1. Proceso de Productivo de la Cerveza [Elaboración propia]

Producción de Mosto

El proceso de producción del mosto comienza con la operación mecánica de *molienda* que tiene por objeto rasgar la cáscara de la cebada malteada para dejar expuesta la porción interior del grano (endospermo), producir mediante una acción de trituración la desintegración total del endospermo y mantener la cantidad de elementos finos (harina) a un mínimo (Broderick, 1978).

Posteriormente se lleva a cabo la operación de *maceración*, que consiste en mezclar las proporciones apropiadas de maltas y adjuntos en agua caliente, y a continuación la mezcla se somete a una serie de ciclos de calentamientos y de reposo. El conjunto de sustancias que se solubilizan de esa manera en el agua se denominan

extracto. La solución de extracto en agua se denomina mosto o, en esta etapa de procesamiento, mosto dulce (ob. cit).

Aparte de compuestos solubles (carbohidratos y compuestos proteínicos de diversa complejidad), el empaste también contiene compuestos insolubles (nepe). A través de la operación de *filtración del mosto cervecero*, éste se separa del bagazo, el cual se descarga en su silo correspondiente. Tradicionalmente se ha utilizado el bagazo como alimento para el ganado (Canales, 2003).

Después de la retirada del bagazo, se procede a la operación de *cocción del mosto*. En una paila de cocción se calienta el mosto hasta la ebullición y se añade el lúpulo. El mosto se hierve normalmente durante 1-2 horas con una intensidad de cocción del 5-8 % de evaporación por hora sobre el volumen total de mosto en la caldera (ob. cit).

Posteriormente el mosto es sometido a un proceso de *clarificación*, donde el grado de claridad requerido para un mosto depende del tipo de cerveza que se está elaborando y de la técnica empleada. El mosto debe estar claro y libre de partículas sólidas (restos de lúpulo y complejos de proteínas-polifenoles precipitados, más conocido como turbios calientes) antes de entrar en el tanque de fermentación lúpulo (ob. cit).

El equipamiento que se utiliza más comúnmente para la operación de clarificación del mosto es el tanque “whirlpool” o remolino, en el que el mosto y las partículas que forman el turbio se introducen a alta velocidad a través de una tubería tangencial a la pared del tanque, originando la acumulación centrípeta de los turbios en el centro del fondo del tanque (ob. cit). Los turbios calientes separados del mosto son recirculados hacia la etapa de filtración, donde se recupera el mosto que retiene, alrededor del 75 % de su peso (Kunze, 1999).

La figura 2 muestra el diagrama de bloques de la etapa de producción de mosto, detallando cada una de las operaciones que lo integran así como sus entradas y salidas.

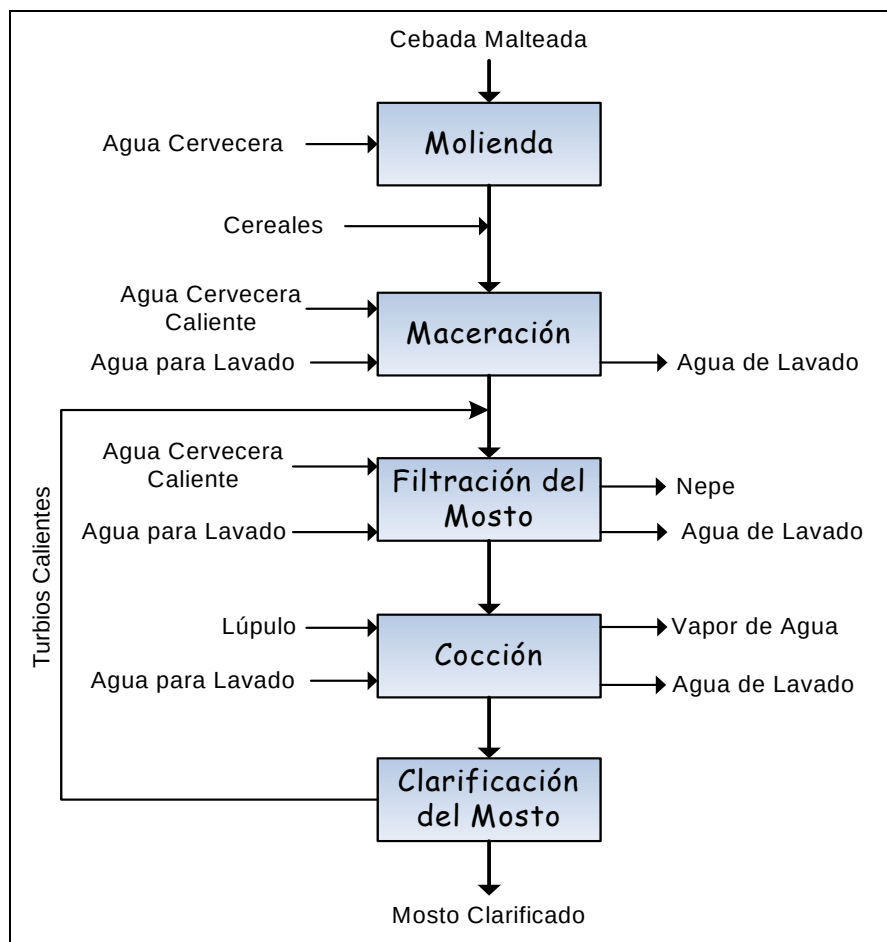


Figura 2. Producción de Mosto [Elaboración Propia]

Fermentación y Maduración

Después de la clarificación se lleva acabo el *enfriamiento del mosto* hasta la temperatura de siembra de la levadura. Esta temperatura depende del tipo de levadura utilizada y del proceso de fermentación elegido (Canales, 2003).

El mosto clarificado, que está aproximadamente a 98 °C, se enfría entre unos 8-12 °C en un intercambiador de placas que utiliza agua y/o agua glicolada como refrigerante. El agua entrante, a la temperatura adecuada según el proceso elegido, se calienta hasta una temperatura de 75 - 85 °C. Posteriormente se utiliza en otros puntos del proceso donde sea necesaria (ob. cit).

El agua de enfriamiento de mosto puede introducirse en el intercambiador de placas previo paso por un sistema de enfriamiento por intercambio directo o a través

de una torre de refrigeración. Cuando se utiliza agua a temperatura ambiente en una primera fase de enfriamiento, se continúa en una segunda fase con agua glicolada a baja temperatura ($<0\text{ }^{\circ}\text{C}$) (ob. cit).

Posteriormente se lleva acabo la *fermentación*, que es un proceso controlado donde las levaduras transforman los azúcares fermentables en etanol y CO_2 . Los productos resultantes del proceso de fermentación tienen un considerable efecto en el sabor, aroma y otras propiedades de la cerveza (Kunze, 1999).

La duración y transformaciones ocasionadas por la fermentación están determinadas por la cepa de levadura empleada y por el control del proceso a través de la temperatura y la presión. La temperatura de fermentación está normalmente dentro del rango $8-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ob. cit).

La fermentación tiene lugar en tanques cerrados (horizontales o verticales, cilindro cónicos o cilíndricos). El CO_2 que se desprende durante la fermentación puede ser recogido en un sistema de recuperación y acondicionamiento de CO_2 (Canales, 2003).

Durante el proceso de fermentación se desprende calor. Por lo tanto, para mantener la temperatura de fermentación deseada es necesario enfriar los tanques a través de chaquetas refrigerantes. Los fluidos refrigerantes utilizados para el enfriamiento suelen ser agua glicolada y/o NH_3 (ob. cit).

Durante la fermentación se produce un exceso de levadura que se deposita en el fondo del tanque. De la levadura que se separa de los tanques de fermentación, una parte se destina a la siembra de la siguiente carga de mosto y el resto se gestiona como un subproducto. La levadura puede reutilizarse varias generaciones, pero debe ser finalmente repuesta debido a la pérdida de sus características (ob. cit.)

La otra parte, una mezcla de levadura con cerveza, es enviada a una centrifugadora, donde se separan las levaduras de la cerveza. De esta manera la cerveza recuperada es almacenada para luego reintroducirla al proceso en la etapa de maduración (Kunze, 1999).

La cerveza "verde" originada en el proceso de fermentación, es almacenada a bajas temperaturas durante períodos de 7 a 30 días, para que ésta adquiriera su sabor

característico, además de favorecer la precipitación de sólidos y la saturación con CO₂ (Canales, 2003). Este proceso es conocido como *maduración de la cerveza*, tiene por objeto la remoción bioquímica de aquellos compuestos químicos que le dan a la cerveza "verde" un sabor y aroma indeseados, convirtiéndola en cerveza madurada (Kunze, 1999).

Al final del proceso de maduración se lleva a cabo la rectificación de la cerveza, la cual consiste en la adición de agua cervecera sin oxígeno a la cerveza madurada, con la intención de reducir el extracto (cantidad de azúcares fermentables) de la cerveza hasta las normas del producto. El agua cervecera debe carecer de oxígeno para así evitar la oxidación de la cerveza.

La figura 3 muestra el diagrama de bloques de la etapa de fermentación y maduración, detallando cada una de las operaciones que lo integran, así como sus entradas y salidas.

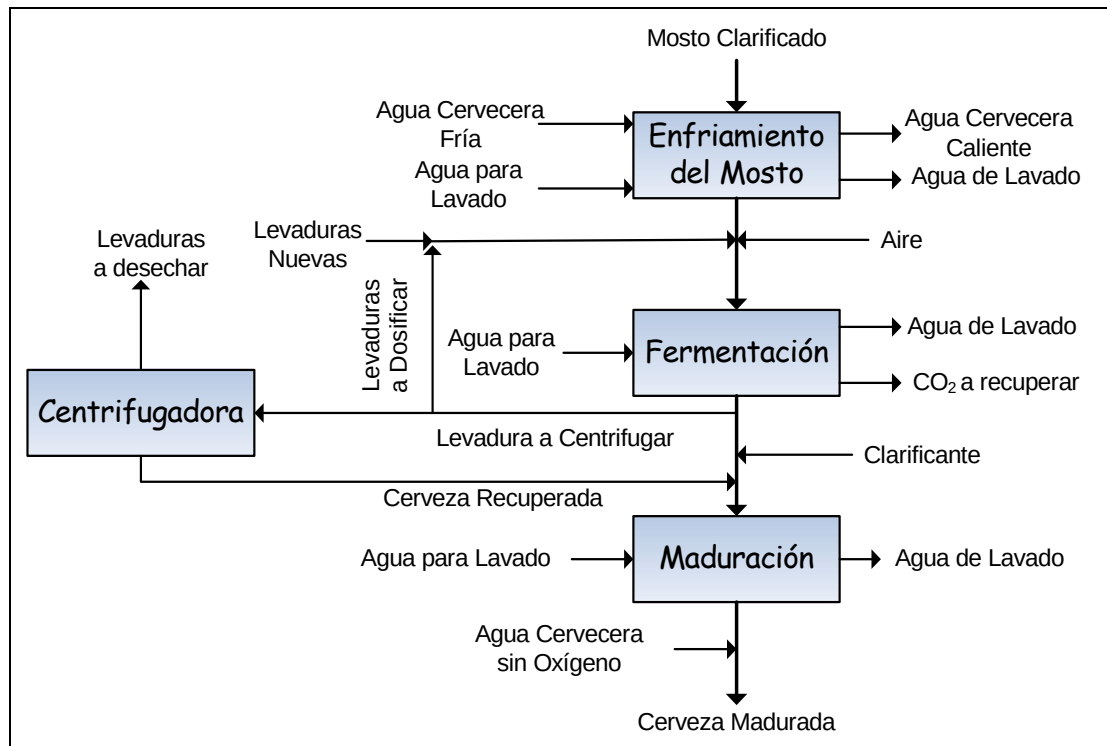


Figura 3. Fermentación y Maduración [Elaboración Propia]

Clarificación de la Cerveza

La *clarificación* es un proceso de separación donde las levaduras y otros compuestos que causan turbiedad aun presentes en la cerveza, son removidos. Al mismo tiempo son removidas sustancias las cuales al cabo de varias semanas o meses, precipitan y generan turbiedad en la cerveza (Kunze, 1999).

La clarificación tiene lugar normalmente en filtros de tierra de diatomeas (esqueletos silíceos de antiguas algas marinas), utilizando para ello filtros de marcos y placas, de platos o de bujías. Sobre la tierra de diatomeas se produce la filtración propiamente dicha, actuando el filtro como soporte de la torta filtrante (Canales, 2003).

Previo al proceso de clarificación, a la cerveza madurada le es añadida una solución antiespumante, para controlar el nivel de espuma que se genera en la cerveza terminada y es carbonatada con el objetivo de conseguir los niveles de CO₂ requeridos del producto final.

La figura 4 muestra el diagrama de bloques de la etapa de clarificación de la cerveza, detallando sus entradas y salidas.

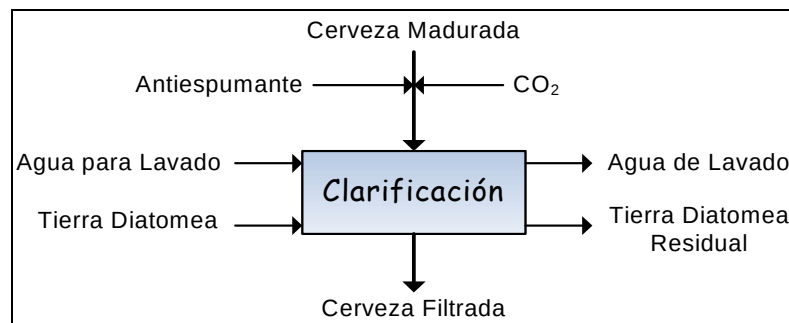


Figura 4. Clarificación de la Cerveza [Elaboración propia]

Estabilización Microbiológica y Envasado de la Cerveza

Al final de proceso de cocción la cerveza está estéril. El daño por microorganismos que pueda sufrir la cerveza puede ser el resultado de la carencia de una buena limpieza de los sistemas de procesamiento. Los microorganismos se

multiplican en la cerveza y producen productos metabólicos los cuales pueden hacer que la cerveza pueda ser no apta para consumo (Kunze, 1999).

Sin embargo para obtener la absoluta certeza de que la cerveza se conservará por un prolongado tiempo debe ser *estabilizada microbiológicamente*, para lo cual es sometido a un proceso de pasteurización (ob. cit.).

Los diferentes sistemas que se utilizan para la estabilización microbiológica son los siguientes: (Canales, 2003)

Túneles de pasteurización

Las botellas y las latas llenas y taponadas van pasando por diversas secciones dentro de los túneles provistos de aspersores que lanzan chorros de agua a temperaturas variables, donde gradualmente se calientan hasta 60 °C, se mantienen un tiempo y luego se enfrían.

El proceso de pasteurización depende de cada fabricante, puesto que las UP (unidades de pasteurización) que se aplican al producto dependen de muchas variables.

Pasteurización flash

La pasteurización flash también es aplicable a la cerveza destinada al envasado en barriles y botellas. El pasteurizador de placas está compuesto por tres secciones.

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

El proceso de *envasado* de la cerveza depende del tipo de envase (botellas reutilizables, botellas de un solo uso, latas y barriles) (Broderick, 1978), los cuales, para efecto de este trabajo, se diferencian fundamentalmente en el proceso de lavado y, en consecuencia, el consumo de agua.

El enjuagado de los envases de un solo uso (botellas y latas) y el lavado de los envases reutilizables (botellas y barriles) es de suma importancia desde el punto de vista higiénico y ambiental, siendo esta operación que tiene mayor consumo de agua dentro del proceso de envasado (Canales, 2003).

Se describen a continuación las distintas operaciones de lavado/enjuagado aplicadas a cada envase: (ob. cit.)

Lavado de botellas reutilizables

Las lavadoras que se emplean actualmente combinan técnicas de lavado por inmersión y mediante inyectores. Comienza con un prelavado para eliminar los residuos más gruesos y precalentar las botellas. Le sigue una serie de inmersiones y lavados por inyección de un modo alternado, con concentraciones de sosa variables (0,5-2,5% aprox.) a distintas temperaturas (50-75°C aprox.).

Se finaliza con una serie de enjuagados tanto interiores como exteriores, comenzando con agua templada y acabando con agua fría para rebajar la temperatura de la botella.

Los tiempos de permanencia en cada etapa son variables, aunque para los tanques de inmersión en sosa suelen ser de 5-7 minutos.

Enjuagado de botellas de un solo uso y latas

Estos tipos de envases se reciben del fabricante casi estériles y sin etiquetas. Únicamente necesitan un chorro de aire comprimido estéril seguido normalmente de una inyección interna de agua estéril.

Lavado y esterilización de barriles

El lavado externo se lleva a cabo en un túnel donde se proyectan chorros de detergente y agua a alta presión sobre los barriles a medida que avanzan.

El lavado interno del barril se realiza por medio de un cabezal en un ciclo de lavados y drenajes alternativos, en el que se va inyectando agua y detergente a distintas temperaturas (normalmente entre 70-80 °C) durante tiempos variables (15-25 segundos).

Al final del lavado se puede purgar el agua remanente con vapor y recogerse para ser utilizada en el primer lavado de otros barriles. Así también se consigue elevar la temperatura del barril hasta la de esterilización. A continuación se procede a la esterilización por inyección de vapor a 120 °C durante 1 min. aproximadamente.

La figura 5 muestra el diagrama de bloques de la etapa de estabilización microbiológica y envasado de la cerveza, detallando cada una de las operaciones que lo integran así como sus entradas y salidas

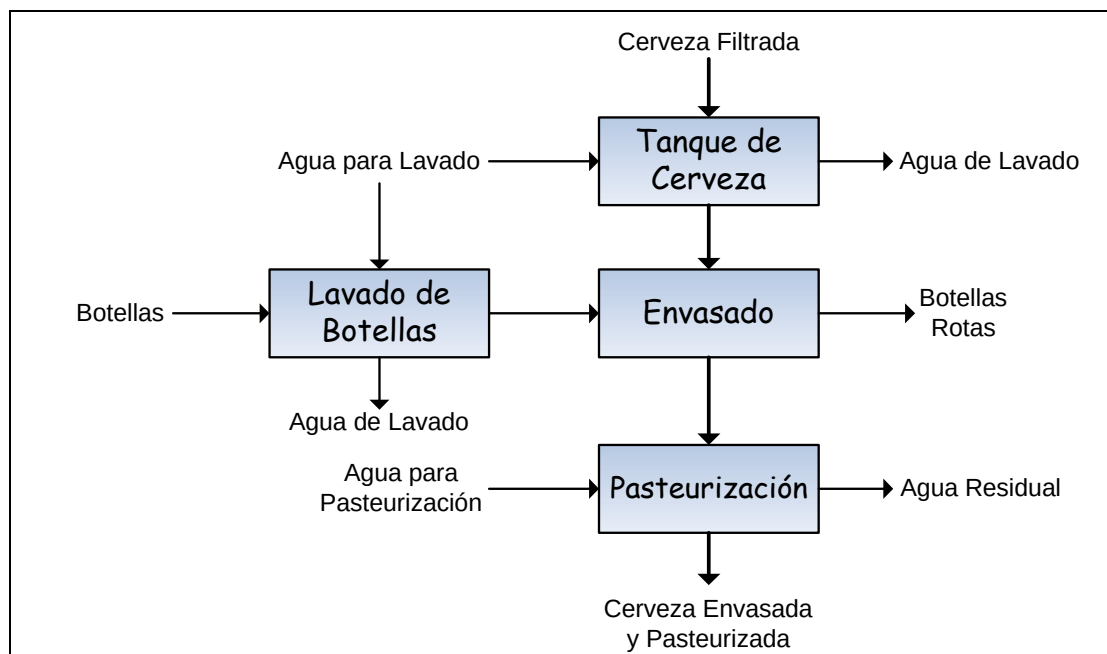


Figura 5. Estabilización Microbiológica y Envasado de la Cerveza [Elaboración propia]

REQUERIMIENTOS Y CARACTERÍSTICAS DEL AGUA EN LA INDUSTRIA CERVECERA

El agua, además de ser la materia prima mayoritaria de la cerveza, es indispensable para el funcionamiento de gran número de operaciones, tales como: lavado y limpieza de equipos e instalaciones, circuitos de refrigeración y calderas, envasado y sanitarias.

Los índices de consumo total de agua en cervecería están entre 4,90 y 12,64 hl agua/hl cerveza envasada (Kunze, 1999), dependiendo del tamaño, antigüedad y grado automatización de las empresas. Estos valores incluyen el volumen total de agua de cualquier procedencia y uso.

A continuación se especifican los requerimientos y características del agua en cada una de las etapas del proceso de producción de cerveza:

Producción del Mosto

En la etapa de producción de mosto, la cual comprende desde la preparación de la mezcla hasta el enfriamiento del mosto, el índice de consumo característico de agua es de 1,95 -3,11 hl agua/hl cerveza envasada (Kunze, 1999).

El agua utilizada para preparar la mezcla a macerar y en el riego del filtro de mosto, denominada *agua cervecera*, debe cumplir con requerimientos específicos para asegurar el debido pH de la masa, la adecuada extracción del lúpulo, buena coagulación en la paila de cocción, sana fermentación y el desarrollo del color y sabor característico de la cerveza terminada (Broderick, 1978).

La cantidad y concentración de sales inorgánicas disueltas en esta agua, fundamentalmente la dureza y alcalinidad influyen en la eficiencia de los procesos operativos cerveceros, y en general las características de la cerveza elaborada (Lewis, 2002).

Se debe evitar la permanencia de materia orgánica disuelta en el agua cervecera, ya que puede generar sabores y olores indeseables en la cerveza (Broderick, 1978).

Después de los tratamientos y filtraciones requeridas, la mayoría de los cerveceros desinfectan con cloro el agua de insumo para eliminar bacterias patógenas y oxidar la materia orgánica presente. Luego esta agua es pasada por los filtros de carbón para retirarle el cloro y otros materiales adsorbibles que puedan darle sabor, olor y color indeseables al agua. El agua resultante es una solución diluida de sales cuya composición es ajustada según su uso (Lewis, 2002).

En resumen los requerimientos básicos para una buena agua cervecera son los siguientes: (Broderick, 1978)

- a) Debe satisfacer las normas del agua potable.
- b) Debe ser transparente, incolora, inodora y libre de cualquier sabor objetable. Si es una agua superficial puede necesitar tratamiento para reducir o eliminar materia orgánica.
- c) El agua base para la maceración debe tener aproximadamente 50 ppm de calcio. Un nivel de calcio de 40 a 70 ppm dentro de la paila de cocción y de la masa principal, ayudará a controlar el pH y mejorar el rendimiento del extracto. Un nivel de 80 a 100 ppm de calcio dentro del mosto, ayudará a controlar el pH, mejorar el rendimiento de la levadura, la floculación de la levadura, la eliminación del oxalato y a reducir el color del mosto. Resulta deseable un contenido de calcio de aproximadamente 60 a 80 ppm en la cerveza terminada para obtener un buen sabor y una mayor estabilidad.
- d) La alcalinidad debe reducirse a 50 ppm o menos, debido a que ésta puede contrarrestar los efectos beneficiosos del calcio y el magnesio.
- e) Si la alcalinidad es de 50 ppm o menos, el pH no es importante y pueden resultar aceptables valores que van desde un pH 4 hasta un pH 9.
- f) El nivel de cloruros puede variar según la preferencia del sabor.

En el proceso de enfriamiento del mosto, es posible utilizar agua cervecera fría (2-5 °C), para luego ser utilizada como agua caliente para mezcla. Para este proceso el índice de consumo característico de agua es de 1-1,1 hl agua/hl cerveza envasada (Environmental Technology Best Practice Programme, 1998).

En las operaciones de limpieza de equipos e instalaciones, tanto las que se realizan manualmente (limpieza de pisos o superficies exteriores), como las realizadas mediante los sistemas automáticos CIP (*clean in place*), se utiliza agua potable filtrada. Para el enjuague final de todos los equipos y tuberías que entran en contacto con el mosto y la materia prima (cebada y lúpulo) se utiliza agua cervecera.

Fermentación y Maduración

En la etapa de fermentación y maduración de la cerveza, el índice de consumo característico de agua es de 0,97-1,56 hl agua/hl cerveza envasada (Kunze, 1999).

Para la rectificación de la cerveza es utilizada agua cervecera sin oxígeno, para evitar la oxidación de la cerveza.

Las otras actividades que conlleva el consumo el agua filtrada son los lavados de los tanques de fermentación y maduración, tuberías y los sistemas de recuperación de cerveza, dosificación y recuperación de levadura. Para los últimos enjuagues se utiliza agua cervecera sin oxígeno por las razones explicadas anteriormente.

Clarificación de la Cerveza

En la etapa de clarificación de la cerveza, el índice de consumo característico de agua es de 0,47-0,76 hl agua/hl cerveza envasada (Kunze, 1999).

En las operaciones de preparación y limpieza del filtro de tierra diatomea se utiliza agua cervecera sin oxígeno y agua potable filtrada. Para la limpieza de los tanques de almacenamiento de cerveza y para la solución antiespumante en los sistemas automáticos CIP (*clean in place*) se utiliza agua filtrada. Para el enjuague final de todos aquellos equipos y tuberías que entran en contacto con la cerveza se utiliza agua cervecera sin oxígeno.

Estabilización Microbiológica y Envasado de la Cerveza

En esta etapa la cual comprende los procesos de lavado de botellas, llenado y pasteurización, además del lavado de las instalaciones, el índice de consumo característico de agua es de 1,79 -2,86 hl agua/hl cerveza envasada (Kunze, 1999).

En las lavadoras de botellas se utiliza agua filtrada en las etapas de enjuague intermedio, inmediatamente después del lavado con la solución de soda cáustica. En las últimas etapas de enjuague se utiliza agua suave o agua cervecera, para así evitar que el residuo del agua de enjuague pueda tener un efecto perjudicial en el sabor de la cerveza embotellada. Con respecto a las características del agua suave, ésta debe de tener una dureza menor de 20 mg/l (GTAI, 2004). Los valores típicos de consumo de agua, en lavadoras antiguas pueden ser superiores a 2-4 hl de agua/ hl cerveza envasada, mientras que en las modernas los consumos suelen estar entre 0,5-0,8 hl de agua/ hl cerveza envasada (Canales, 2003).

Al agua utilizada en los túneles de pasteurización, deben añadirse aditivos en el sistema de recirculación para evitar el desarrollo de algas y de microorganismos, (ob. cit.). Por otra parte, si para el enfriamiento del agua a recuperar de los pasteurizadores se utilizan torres de enfriamiento, es necesario realizar un tratamiento químico al agua para evitar la corrosión de las torres de enfriamiento.

Otra actividad que genera un alto consumo de agua son las bombas de vacío de las llenadoras de botellas. Éstas utilizan agua filtrada para crear un vacío de 0,93-0,98 bar (Kunze, 1999) durante el llenado y tapado de las botellas de cerveza.

Servicios Auxiliares

Los servicios auxiliares que poseen un mayor consumo de agua son las calderas para generar vapor, la planta de refrigeración y de aire comprimido.

Para generar vapor las calderas deben alimentarse con agua desmineralizada para evitar incrustaciones en las mismas y en los intercambiadores de calor donde se utilizará el vapor. Esta debe tener una concentración de sodio y de sílice menor al 0,25 mg/l (GTAI, 2004). El índice de consumo típico de agua desmineraliza en una cervecería es de 0,40 -0,64 hl agua/hl cerveza envasada (Kunze, 1999).

Con respecto a las plantas de refrigeración y de aire comprimido se utiliza agua suave para enfriar los compresores del refrigerante, por lo general amoníaco, y del aire. Los índices de consumo típicos para los servicios auxiliares en una

cervecería es de 0,32 -0,51 hl agua/hl cerveza envasada y de 0,45 - 0,71 hl agua/hl cerveza envasada respectivamente (Kunze, 1999).

La tabla 1 resume las operaciones que comúnmente tienen mayor consumo de agua en una cervecería, sus índice de consumo (hl agua/hl cerveza envasada) y el tipo de agua que es utilizada en cada una de ellas.

Tabla 1. Valores Típicos de Consumo y Tipos de Aguas Utilizada en Cervecerías

Operación	* Índice de Consumo (hl agua/hl cerveza envasada)	Tipo de Agua
Producción de Mosto	1,95 - 3,11	Agua Cervecera Caliente
Enfriamiento del Mosto	1 - 1,1	Agua Cervecera Fría
Fermentación y Maduración	0,97 - 1 ,56	Agua potable filtrada y cervecera sin oxígeno
Clarificación	0,47 - 0,76	Agua filtrada potable
Estabilización Microbiológica y Envasado	1,79 - 2,86	Agua filtrada potable y suave
Lavado de botellas	0,5 - 4	Agua filtrada potable y suave o cervecera
Servicio de Vapor de Agua	0,40 - 0,64	Agua desmineralizada
Servicio de Refrigeración	0,32 - 0,51	Agua Suave
Servicio de aire comprimido	0,45 - 0,71	Agua Suave
Total	4,9 - 12,64	----

* Adaptado de Kunze (1999)

En la tabla destacan el gasto de agua de las operación de estabilización microbiológica, debido a los altos volúmenes de agua que deben ser utilizado para la pasteurización de la cerveza (túneles de pasteurización o pasteurizadores flash) y en el envasado de la cerveza, específicamente en el consumo de agua para el lavado de botellas y la limpieza de la línea de envasado.

Por otra parte la operación de producción de mosto también se caracteriza por su elevado consumo de agua. Debido a los requerimientos de agua para la elaboración del mosto, teniendo en cuenta la pérdida de agua por evaporación durante la cocción del mismo, además de los altos volúmenes de agua utilizada para el lavado de las

instalaciones y equipos, considerando las condiciones asépticas que deben cumplir para la producción de mosto.

Índice de Langelier

Entre las características que deben tomarse en consideración en el agua utilizada en cualquier industria es su corrosividad, o la tendencia para deteriorar o producir incrustaciones en las tuberías que lo conducen.

Entre los métodos utilizados para determinar la corrosividad del agua, esta el índice de saturación de Langelier para carbonato de calcio (una medida de la tendencia del compuesto para disolverse o depositarse en una instalación hidráulica) que proporciona información acerca de las características incrustantes ó corrosivas de un agua (Lane, 1995).

Para el cálculo del índice de Langelier se utiliza la siguiente fórmula:

$$LSI = pH_A - pH_S \quad (Ec.1)$$

donde:

LSI: índice de saturación de Langelier

pH_A: pH actual del agua

pH_S: pH de saturación o pH del equilibrio calcocarbónico del agua

El pH_S se calcula a partir de la siguientes expresiones:

$$pH_S = (9,3 + A + B) - (C + D) \quad (Ec. 2)$$

$$A = \log(TDS - 1) / 10 \quad (Ec. 3)$$

$$B = -13,12 * \log(^{\circ}C + 273) + 34,55 \quad (Ec. 4)$$

$$C = \log(Ca^{2+} \text{ como } mg / l \text{ CaCO}_3) \quad (Ec. 5)$$

$$D = \log(Alcalinidad \text{ como } mg / l \text{ CaCO}_3) \quad (Ec. 6)$$

donde:

TDS: total sólidos suspendidos (mg/l).

Las aguas con un índice de Langelier igual a cero están en equilibrio químico, las de índice positivos son incrustantes o depositantes y las de índice negativo son corrosivas o disolventes (Lane, 1995).

DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA CERVECERA

El volumen de agua residual generado en las instalaciones cerveceras corresponde al agua total consumida, descontando la que se incorpora al producto final, la evaporada en operaciones de producción y servicios auxiliares y la que queda absorbida en la matriz sólida de los residuos generados. Los valores reportados por Kunze de agua residual vertida en cervecerías están entre 3,5- 4,2 hl agua/hl cerveza envasada para cervecerías cuyo consumo total de agua está alrededor de 6 hl agua/hl cerveza envasada.

Específicamente, el agua residual proveniente de las operaciones de limpieza de equipos e instalaciones, así como el lavado de los barriles y envases reutilizables, presentan un considerable volumen (0,98 – 2,34 hl agua/hl cerveza envasada) y una gran carga contaminante (Kunze, 1999), ya que las soluciones de limpieza, además de contener diversas sustancias químicas como detergentes y desinfectantes, entran en contacto directo con la superficie de equipos, conductos y depósitos que han transportado o contenido mosto, cerveza o materias primas, incrementando la carga orgánica y la cantidad de sólidos en suspensión entre otros.

Los túneles de pasteurización tienen un alto consumo de agua, aunque sin una carga contaminante importante. Las tendencias mundiales se orientan a mejorar los diseños para reducir el vertido de agua y reutilización de las mismas.

También se produce agua residual en el enfriamiento del mosto, corriente residual que tiene posibilidades de reutilización, así como en la planta de tratamiento del agua de proceso. Este acondicionamiento previo del agua genera pérdidas que dependen de la composición del agua cruda y el sistema de acondicionamiento empleado: membrana o resinas de intercambio. Dependiendo de la calidad del agua

cruda, en estos casos, se pueden verter importantes volúmenes de efluentes de regeneración de resinas, alrededor del 7% del total de agua consumida (Kunze,1999), con alta carga inorgánica, originada por la concentración de sales.

La característica más destacable de las aguas residuales de cervecería es su elevada carga orgánica biodegradable, lo que favorece sus posibilidades de depuración mediante métodos biológicos. Canales (2003) reporta algunos valores característicos de la carga contaminante de aguas residuales de la industria cervecera los cuales se muestran a continuación en la tabla 2:

Tabla 2. Carga Contaminante de Aguas Residuales de la Industria Cervecera
(Kg /hl de cerveza envasada) [Canales, 2003]

DQO	Sólidos en suspensión	Nitrógeno Total	Fósforo Total	Cloruros
0,5-2,9	0,06-0,28	0,01-0,06	0,01-0,1	0,06-0,2

TENDENCIAS EN EL MANEJO DE RESIDUOS PARA UN DESARROLLO SUSTENTABLE

A partir de los cambios registrados en el medio ambiente a mediados del siglo XX, se ha generado una gran preocupación en la comunidad internacional, motivando el análisis y el seguimiento continuo del impacto ambiental generado por las actividades económicas del ser humano.

De tal manera se han desarrollado políticas públicas ambientales orientando las acciones hacia la solución de dicha problemática, mediante la generación de mecanismos que permitan optimizar la utilización de los recursos naturales, asegurar el nivel de calidad ambiental y maximizar los beneficios.

Uno de los conceptos más importantes surgidos en el desarrollo de políticas ambientales es el de *Desarrollo Sustentable*, el cual se define como aquel que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades ²,

² http://www.cinu.org.mx/temas/des_sost.htm

convirtiéndose la variable ambiental en un aspecto fundamental en la toma de decisiones económicas.

De las diversas herramientas desarrolladas a partir del concepto de Desarrollo Sustentable está el de *Sistema de Gestión Ambiental* (SGA), el cual se define como un proceso cíclico de planificación, implantación, revisión y mejora de los procedimientos y acciones que lleva a cabo una organización para realizar su actividad, garantizando el cumplimiento de sus objetivos ambientales ³. Entre los modelos de SGA existentes se encuentran las normas *ISO 14001* desarrolladas por la International Standard Organizations (ISO) y la *EMAS* (Eco-Management and Audit Scheme) promovida por la Unión Europea, ambas de adscripción voluntaria.

Otra herramienta derivada del concepto de Desarrollo Sustentable es el de Producción más Limpia - PML, que es una estrategia que promueve el uso eficiente de materias primas, agua y energía, entre otros insumos, a fin de eliminar o reducir en las fuentes de origen, la cantidad de residuos no deseados que se genera durante los procesos de producción (CPTS, 2005).

Cabe destacar que la estrategia de PML se puede incluir dentro del SGA de una empresa, como una herramienta de carácter preventivo, para diseñar y lograr alcanzar metas específicas destinadas a resolver problemas ambientales. Sin embargo se puede desarrollar un programa de PML en cualquier empresa donde no exista un SGA, incorporando los aspectos de carácter preventivos que se contemplan en la ejecución de un programa de SGA, tales como el lograr el compromiso de la gerencia y llevar a cabo el seguimiento de las medidas implantadas (ob. cit.).

Otra herramienta importante de mencionar son las Guías de Mejoras Técnicas Disponibles, constituidas por un conjunto de prácticas y tecnologías eficaces para el desarrollo de las actividades productivas y de sus modalidades de producción. La eficacia se mide en términos de la capacidad práctica que tienen determinadas técnicas que, idealmente, sin necesidad de un tratamiento posterior de residuos, permiten que los parámetros de sus efluentes o emisiones cumplan directamente con

³ <http://www.gestion-ambiental.com/article.php?sid=3>

valores límites normalmente establecidos por las características de las máquinas y/o por las normas ambientales (ob. cit.).

PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

Antecedentes

En 1989, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente lanzó su Programa de PML. Otros conceptos similares han sido “minimización de residuos”, “prevención de la contaminación” y “ecoeficiencia”, todos ellos referidos a la estrategia de hacer más con menos, a fin de mejorar la eficiencia en el uso de los recursos naturales, materias primas e insumos y minimizar la generación de residuos, la contaminación y los riesgos ambientales derivados de la producción de bienes y servicios.⁴

A partir de entonces, se han dado importantes pasos en materia de políticas y programas de PML a nivel internacional, que pretenden dar respuesta a los compromisos relacionados con el tema, establecidos en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), conocida más comúnmente como "Cumbre para la Tierra", llevada a cabo entre el 3 y el 14 de junio de 1992 en de Río de Janeiro, en la cual los países participantes acordaron adoptar un enfoque de desarrollo que protegiera el medio ambiente, mientras se aseguraba el desarrollo económico y social (ob. cit.).

En los Capítulos 20, 22 y 30 de la Agenda 21, la CNUMAD le dio prioridad a la introducción de los métodos de producción más limpia y a las tecnologías de prevención y reciclaje, con el fin de alcanzar un desarrollo sostenible, la implementación de mejoras en la eficiencia del uso de las materias primas y la energía.⁵

⁴ http://www.cubaindustria.cu/pl/paginas/prod_limpias_sime.htm

⁵ <http://www.cinu.org.mx/eventos/coferencias/johannesburgo/documentos/Agenda21/Programa21.htm>

En 1994 surge el Programa Internacional de PML, creado bajo una iniciativa conjunta de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), con el objetivo de desarrollar capacidades nacionales en PML y fomentar el desarrollo industrial sostenible en países en desarrollo o en transición. En 1998 el PNUMA lanzó la Declaración Internacional de Producción Más Limpia, firmada en la actualidad por un importante número de países, organizaciones empresariales e instituciones de todas las latitudes.⁶

En el presente, el programa de PML de la ONUDI se caracteriza por su enfoque logístico, orientado a la aplicación de este concepto en sectores económicos prioritarios, a fin de garantizar mayor competitividad a las empresas del mundo subdesarrollado y facilitar su acceso a los mercados internacionales (ob. cit.).

Definición

La definición de la PML adoptada por el PNUMA es la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva, integrada para los procesos y los productos, con el fin de reducir los riesgos al ser humano y al medio ambiente (PNUMA, 1999).

En los procesos productivos, la PML conduce al ahorro de materias primas, agua y/o energía, a la eliminación de materias primas tóxicas y peligrosas, y a la reducción, en la fuente, de la cantidad y toxicidad de todas las emisiones y los desechos, durante el proceso de emisión (ob. cit.).

En los productos, la PML busca reducir los impactos negativos de los productos sobre el medio ambiente, la salud y la seguridad, durante todo su ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas, pasando por la transformación y uso, hasta la disposición final del producto (ob. cit.).

En los servicios, la PML implica incorporar el quehacer en el diseño y la prestación de servicios (ob.cit.).

⁶ http://www.cubaindustria.cu/pl/paginas/prod_limpias_sime.htm

Beneficios de la aplicación de la PML

Los beneficios para las empresas, como consecuencia de la aplicación de los Principios de PML se reflejan, no sólo en una mayor rentabilidad y productividad, sino que influyen en aspectos tales como su desempeño ambiental, seguridad y condiciones laborales e imagen de la empresa. Algunos de estos beneficios se mencionan a continuación: (CPTS, 2005)

En el ámbito *económico*, los cambios que se realicen en la producción conllevan a un aumento de la rentabilidad, debido al aprovechamiento de los recursos y en la productividad, por una mayor eficiencia de los procesos:

- a) Reduce costos a través del uso eficiente de materias primas, agua, energía y otros insumos.
- b) Reduce costos a través de un mejor manejo de residuos y desechos.
- c) Reduce costos de traslado y disposición de desechos.
- d) Reduce o elimina la inversión de plantas de tratamientos o medidas "al final del proceso".
- e) Incrementan las ganancias por las mejoras en los procesos productivos y por el valor económico obtenido al reutilizar, reciclar y recuperar los residuos.

En el ámbito del *desempeño ambiental*, un mejor uso de los recursos reduce la generación de desechos, los cuales pueden, en algunos casos reciclarse, reutilizarse o recuperarse:

- a) Reduce los costos y simplifica las técnicas requeridas para el "tratamiento a final de proceso" y para la disposición final de los desechos.
- b) Genera nuevos conocimientos dentro de la empresa.
- c) Facilita el proceso de adecuación ambiental previsto en la legislación ambiental.
- d) Ayuda a evaluar los riesgos con respecto a los impactos ambientales.
- e) Contribuye con el establecimiento de un sistema de gestión ambiental dentro de la empresa.

En el ámbito del *posicionamiento comercial de la empresa*:

- a) Diversifica sus líneas de producto.

- b) Accede a nuevos mercados.
- c) Incrementa las ventas.
- d) Diversifica el uso de materiales residuales.
- e) Mejora su imagen en el mercado.

Desde el punto de vista del *entorno laboral*:

- a) Mejora las condiciones de seguridad y salud ocupacional.
- b) Mejora las condiciones de infraestructura de la planta productiva.
- c) Genera efectos positivos en el personal.
- d) Mejora las relaciones con la comunidad y las autoridades.

Descripción y Análisis de la Metodología de Implantación de PML.

En conjunto con el PNUMA, la ONUDI desarrolló el Manual de Auditoria y Reducción de Emisiones y Residuos Industriales (PNUMA/ONUDI,1994). Este manual contiene la metodología básica de Producción más Limpia, la cual está integrada por tres fases (Preevaluación, Balance de materiales y Síntesis), y en cada una de las cuales se contemplan los pasos a desarrollar.

Entre otras publicaciones que desarrollan la metodología de aplicación de la producción se encuentra la Guía Técnica General de Producción más Limpia (CPTS, 2005), Guía de Producción más Limpia (CONAM/CET-PERU, 2005), Guía de Producción más Limpia-Un Paquete de Recurso de Captación (PNUMA/ORPALC, 1999), donde los principios fundamentales son los mismos.

La tabla 3 muestra una síntesis de la metodología de implementación del programa de Producción más Limpia en una empresa, la cual se deriva del análisis de las publicaciones anteriormente mencionadas.

En esta se contempla lo concerniente a la planificación y ejecución de un conjunto de medidas que se desarrollan de manera sistemática, con el objetivo de realizar un diagnóstico de las operaciones de producción ineficientes y concebir soluciones técnicas y económicamente viables, dirigidas a mejorar la eficiencia productiva de las operaciones en estudio y disminuir su impacto ambiental.

Tabla 3. Metodología de Implantación del Programa de PML

Fase	Pasos	Objetivos
Preevaluación	# 1: Preparación y Organización del Equipo Auditor y los Recursos	- Asegurar el compromiso de la administración - Diseñar y organización del equipo de auditoria de residuos - Verificar la designación de recursos económicos - Analizar la disposición de instalaciones de laboratorios analíticos y equipos para muestreo y mediciones de flujo - Seleccionar el enfoque de la auditoria (operaciones unitarias y residuos a estudiar) - Determinar la disposición de la documentación sobre el proceso a estudiar
	# 2: División del Proceso en Operaciones Unitarias	- Entender todas las operaciones del proceso y sus interrelaciones mediante visitas en campo - Describir el proceso en términos de operaciones unitarias - Consultar condiciones normales y variables del proceso asociadas con cada operación unitaria - Entrevistar al personal de operación acerca de los problemas de proceso recurrentes - Corroborar las prácticas operacionales y el cumplimiento de los procedimientos escritos
	# 3: Elaboración de Diagramas de Flujo del Proceso	- Trazar diagramas de flujo del proceso, resaltando las áreas a cubrir por la auditoria. - Establecer el nivel correcto de detalle del conocimiento de los procesos y profundizar en las áreas específicas a cubrir por la auditoria - Implementar de inmediato aquellas medidas muy obvias que tiendan a ahorrar residuos y que puedan llevarse a cabo con facilidad
Balance de Materiales	# 4: Determinación de Entradas	- Cuantificar el consumo de materias primas a través de registros de adquisición y compras - Considerar el almacenamiento de materias primas y la transferencia de las mismas para determinar la entrada neta real al proceso - Considerar las pérdidas por evaporación, fugas, goteos, contaminación de materias primas entre otros - Cuantificar la entrada neta de materia primas en cada operación unitaria - Si no se poseen registros, realizar la cuantificación por observación y simples procedimientos de contabilidad (aforos, llenado de tanques, etc.) - Identificar las operaciones unitarias críticas e ineficiencias productivas
	# 5: Registro del Consumo de Agua	- Distinguir entre el consumo de agua para el proceso de aquella utilizada para el lavado y servicios (vapor, refrigerante) - Identificar la función y cantidad del consumo de agua en las operaciones unitarias, y conocer los valores de diseño - Observar el consumo de agua para el lavado, el cual con mucha frecuencia tiene un consumo indiscriminado

Continúa...

Tabla 3. Metodología de Implantación del Programa de PML (Continuación)

Fase	Pasos	Objetivos
Balance de Materiales	# 6: Niveles de Reutilización y/o Reciclaje de Residuos	- Identificar y cuantificar aquellos residuos cuyas características químicas permiten su reutilización directa en producción - Identificar y cuantificar aquellos residuos que por sus características químicas deben de ser tratados para su reutilización directa en producción - La reutilización de residuos trae como ventaja la disminución del costo de materia prima así como la de los costos de tratamientos
	# 7: Cuantificación de Productos y Sub-productos	- Cuantificar las salidas de las operaciones unitarias y de todo el proceso. Se incluye el producto principal, sub-productos, aguas de desecho, residuos gaseosos, líquidos y sólidos. - Evaluar la eficiencia del proceso y de las operaciones unitaria
	# 8: Contabilización de Agua de Desecho	- Identificar las aguas de desecho de cada operación unitaria - Esquematizar la red de drenaje del lugar de estudio, lo cual facilita el monitoreo de los efluentes - Cuantificar las aguas de desechos de cada operación unitaria - Realizar muestreos y análisis de las aguas de desecho de cada operación unitaria (Temperatura, DQO, DBO, pH, alcalinidad, dureza, sólidos suspendidos, entre otros)
	# 9: Contabilización de Emisiones Gaseosas	- Identificar los puntos de emisión de gases y material particulado - Cuantificar las emisiones gaseosas actuales y potenciales asociadas a cada operación unitaria
	# 10: Contabilización de Residuos para Disposición fuera de la Planta	- Identificar y cuantificar los residuos que no puedan ser tratados en la planta (líquidos no acuosos, lodos o sólidos) - Caracterizar los orígenes y composición de los residuos - Identificar de residuos peligrosos - Vislumbrar alternativas para la disminución de la generación de residuos
	# 11: Estructuración de Información de Entradas y Salidas	- Organizar la información disponible sobre las entradas y salidas de las operaciones unitarias y procesos a la escala apropiada para el nivel de detalle requerido
	# 12: Balance Preliminar de Masa	- Disponer de los datos de entradas y salidas de las operaciones unitarias en unidades de masa - Realizar balance de energía de las operaciones unitarias como información complementaria al balance de masa - Construir el balance de materiales utilizando la información recopilada en los pasos previos para cada operación unitaria - Realizar balances de masa para cada contaminante de interés y para las corrientes de agua

Tabla 3. Metodología de Implantación del Programa de PML (Continuación)

Fase	Pasos	Objetivos
Balance de Materiales	# 13: Evaluación del Balance de Materiales	- Detectar falta de información e imprecisiones - Detectar desbalances de masa significativos que requieran verificación de datos e investigación - Reexaminar las operaciones unitarias para identificar pérdidas que no se hayan tomado en cuenta - De ser necesario repetir las experiencias de recolección de datos requeridos
	# 14: Mejora del Balance de Materiales	- Realizar de nuevo los balances de masa con la información adicional detectada en el paso anterior - Realizar estimaciones de pérdidas de ser necesario - Determinar con criterio el grado aceptable de precisión de la equivalencia entre las entradas y salidas de las operaciones unitarias estudiadas
Síntesis	# 15: Identificación de Medidas Obvias de Reducción de Residuos	- Indicar medidas sencillas a implementar en los procesos estudiados, que se traduzcan en la disminución de pérdidas de insumos y generación de residuos - Optimizar las prácticas operacionales de los procesos estudiados, con el objetivo de hacerlos más eficientes
	# 16: Identificación de Residuos Problemáticos	- Identificar las áreas problemáticas del proceso a partir de su balance de masa - Indicar residuos que generen problemas en los procesos - Detectar causas y factores que traigan como consecuencia la generación de residuos tales como falta de mantenimiento, tecnologías deficientes, incumplimiento de procedimientos de mantenimiento - Dar prioridad a las acciones de reducción en función de las características cualitativas y cuantitativas de los residuos
	# 17: Posibilidad de Segregación de Residuos	Estudiar las posibilidades de separación de residuos en los procesos e instalaciones analizadas con los siguientes propósitos: - Mejorar oportunidades de reutilización de residuos - Disminuir los volúmenes de residuos que necesitan someterse a procesos de tratamiento
	# 18: Medidas de Reducción de Residuos a Largo Plazo	Generar soluciones para aquellos problemas de residuos que no pueden resolverse con medidas simples, tales como: - Cambios en el proceso de producción - Cambio de equipos y tecnología - Cambios o implantación de sistemas de control - Cambios de variables de proceso - Reducción o sustitución de materias primas

Continúa...

Tabla 3. Metodología de Implantación del Programa de PML (Continuación)

Fase	Pasos	Objetivos
Síntesis	# 19: Evaluación técnica, económica y ambiental de las opciones de reducción de residuos	<i>Evaluación Técnica:</i> - Disponibilidad de tecnología, espacio físico, materia prima e insumos, logística y servicios - Condicionantes de políticas y legislaciones vigentes, sociales, organizacionales y laborales - Viabilidad de los fenómenos involucrados en las operaciones unitarias tales como variables de proceso, rendimientos, resistencia de materiales, entre otros <i>Evaluación Económica:</i> - Período de recuperación de la inversión - Rentabilidad de la inversión <i>Evaluación Ambiental:</i> - Efecto sobre el volumen y grado de contaminación de los residuos del proceso - Eliminación o reducción de elementos tóxicos - Disminución del consumo de materias primas e insumos
	# 20: Desarrollo e implementación de las medidas de PML	- Ganar el apoyo de la alta gerencia para la implementación de las medidas resultantes de la auditoria - Hacer seguimiento y evaluar los resultados de las medidas implementadas - Asegurar la continuidad del programa de PML

* Elaboración propia a partir de la Guía Técnica General de Producción más Limpia (CPTS, 2005), Guía de Producción más Limpia (CONAM/CET-PERU, 2005), Guía de Producción más Limpia-Un Paquete de Recurso de Captación (PNUMA/ORPALC, 1999)

HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN Y OPORTUNIDADES DE AHORRO

Para el adecuado desarrollo de la fase de Balance de Materiales en el estudio de operaciones unitarias, se cuenta con una serie de herramientas que permiten la evaluación de sus condiciones de operación, que son los balances de masa y energía, además de otros métodos no convencionales utilizados para la cuantificación de caudales y consumos de agua en operación.

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 (McCabe, 1975).

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 (ob. cit.).

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

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

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

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 (CPTS, 2005).

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 (CONAM/CET-PERU, 2005).

Balance de Energía

El balance de energía o balance energético es la cuantificación de la existencia y los flujos de energía, el cual se basa en la primera ley de la termodinámica de conservación de la energía (CPTS, 2005).

La ecuación general de balance de energía es la siguiente: (Felder, 1999)

$$ACUMULACIÓN = ENTRADAS - SALIDAS \quad (Ec. 9)$$

La energía del sistema $E_{SIST}(t)$ es la energía total (interna+cinética-potencial), y m_{EN} y m_{SAL} son las velocidades de flujo másico de entrada y salida del sistema. Teniendo en cuenta que la masa que entra al sistema es igual a la que sale, y suponiendo que las energías potencial y cinética son despreciables, que la temperatura y composición del contenido sistema no cambia con la posición dentro del mismo, y que no ocurren reacciones químicas en el sistema, el balance de energía queda planteado de la siguiente forma: (ob.cit)

$$\frac{dE_{SIST}}{dt} = \frac{dU_{SIST}}{dt} = M \cdot C_V \cdot \frac{dT_{SIST}}{dt} = m \cdot C_p \cdot (T_{EN} - T_{SAL}) + Q + W_e \quad (Ec. 10)$$

donde:

E_{SIST} : energía total del sistema (KJ/h)

U_{SIST} : energía interna del sistema (KJ/h)

M : masa total del sistema (Kg)

Cv: capacidad calorífica a volumen constante (KJ/Kmol * °C)

T_{SIST}: temperatura del sistema (°C)

m: flujo de masa (Kg/h)

Cp: capacidad calorífica a presión constante (KJ/Kg * °C)

T_{EN}: temperatura de la masa a la entrada del sistema (°C)

T_{SAL}: temperatura de la masa a la salida del sistema (°C)

Q: calor transferido (KJ/h)

We: trabajo externo (KJ/h)

Balance de energía en Intercambiadores de Calor

Considerando que la operación de un intercambiador de calor se lleva a cabo en estado estacionario y que la transferencia de calor con el ambiente se reduce a un valor muy pequeño al utilizar aislante adecuado, el balance de energía para el fluido caliente que cede calor se expresa de la siguiente manera: (McCabe, 1975).

$$Q_c = m_c \cdot C_{pc} \cdot (T_{sc} - T_{ec}) \quad (\text{Ec.11})$$

donde:

Q_c: calor cedido por el fluido caliente (KJ/h)

m_c: flujo másico del fluido caliente (Kg/h)

C_{pc}: calor específico a presión constante del fluido caliente (KJ/Kg °C)

T_{sc}: temperatura salida del fluido caliente (°C)

T_{ec}: temperatura entrada del fluido caliente (°C).

El balance de masa para el fluido frío es el siguiente: (ob. cit)

$$Q_f = m_f \cdot C_{pf} \cdot (T_{sf} - T_{ef}) \quad (\text{Ec.12})$$

donde:

Q_f: calor absorbido por el fluido frío (KJ/h)

m_f: flujo másico del fluido frío (Kg/h)

C_{pf}: calor específico a presión constante del fluido frío (KJ/Kg °C)

Tsf: temperatura salida del fluido frío (°C)

Tef: temperatura entrada del fluido frío (°C).

El calor cedido por el fluido caliente es ganado por el frío: (ob. cit)

$$Q_c = -Q_f \quad (\text{Ec.13})$$

La transferencia de calor global que combina la conducción y la convección se expresa de la siguiente manera:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{LN} \quad (\text{Ec.14})$$

donde:

U: coeficiente global de transferencia de calor (KJ/h m² °C)

A: área de transferencia de calor del intercambiador (m²)

ΔT_{LN} : temperatura media logarítmica (° C)

El cálculo de la ΔT_{LN} va a depender si el intercambiador de calor opera en contracorriente o en paralelo:

$$\text{Contracorriente: } \Delta T_{LN} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{LN\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{(T_{ec} - T_{sf}) - (T_{sc} - T_{ef})}{LN\left(\frac{T_{ec} - T_{sf}}{T_{sc} - T_{ef}}\right)} \quad (\text{Ec.15})$$

$$\text{Paralelo: } \Delta T_{LN} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{LN\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{(T_{ec} - T_{ef}) - (T_{sc} - T_{sf})}{LN\left(\frac{T_{ec} - T_{ef}}{T_{sc} - T_{sf}}\right)} \quad (\text{Ec.16})$$

Mediciones Continuas

Son las generadas por instrumentos instalados en las tuberías de suministro de agua tales como caudalímetros, flujómetros y medidores volumétricos de agua (CPTS, 2005).

Métodos no Convencionales de Determinación de Consumos de Agua

Son una serie de métodos manuales, que son aceptables cuando se trata de estimar caudales y consumos de agua que no varían mucho a través del tiempo. Entre los métodos de medición discontinua se encuentran: (CPTS, 2005)

Aforo Volumétrico: consiste en medir el tiempo que tarda en llenarse o vaciarse un recipiente seleccionado como volumen de control. El caudal se calcula dividiendo el volumen de agua en el recipiente, entre el tiempo que tarda en llenarse o vaciarse el mismo. Conocido el caudal, el volumen de agua consumido por un sistema, se calcula multiplicando el tiempo de operación por el caudal.

Este método es sencillo pero no exacto. De hecho, el caudal de cualquier válvula en una planta varía considerablemente en función de la fluctuación de la presión de la línea de abastecimiento de agua, por lo que solo sirve para obtener un estimado del volumen consumido.

Aforo Químico o de Dilución: consiste en la determinación de las características de un flujo (velocidad o caudal) por medio de la inyección instantánea de una cantidad dada de un trazador, y la medición de la concentración del trazador en algún punto aguas abajo, una vez obtenida una buena mezcla.

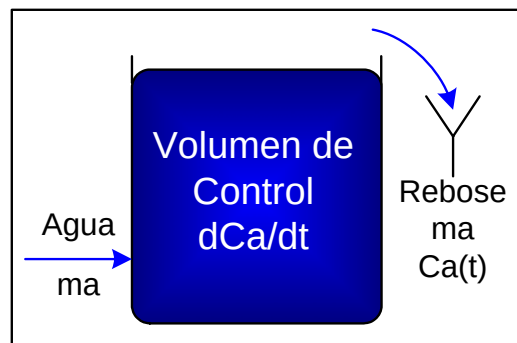


Figura 6. Aforo Químico. Dilución de Volumen de Control

Una de las modalidades de aforo químico consiste en la determinación de la velocidad de dilución de una solución, que se encuentra en un volumen de control, como se muestra en la figura 6.

Mediante del balance de masa para el trazador, se determina el caudal de agua que ingresa al volumen de control, según la siguiente expresión:

$$V * \frac{dCa}{dt} = -(ma * Ca(t)) \Rightarrow \int_0^t dt = \frac{ma}{M_{VC}} * \int_{Cao}^{Caf} \frac{dCa}{Ca(t)} \quad (\text{Ec.13})$$

$$\Rightarrow ma = \left(-\frac{M_{VC}}{t} \right) * (Ln(Caf) - Ln(Cao)) \quad (\text{Ec.14})$$

donde:

ma: flujo de masa de agua (Kg/h)

M_{VC} : masa del volumen de control (Kg)

t: tiempo final de toma de muestra (h)

Cao: concentración inicial del trazador (% p/p)

Caf: concentración inicial del trazador (% p/p)

El caudal de agua se obtiene de la siguiente manera:

$$Q = \frac{ma}{\rho_{SOLUCION}} \quad (\text{Ec.15})$$

donde:

Q: caudal de agua (m³/h)

$\rho_{SOLUCION}$: densidad de la solución (Kg/m³)

Utilización de Trazadores: una sustancia coloreada (también se utiliza objetos pequeños) se inyecta en la corriente donde se desea medir el caudal. Se mide el tiempo que transcurre desde que se inyecta la sustancia en un punto fijo inicial, hasta que la sustancia coloreada llegue a otro punto final.

Conociendo la distancia entre estos dos puntos y el tiempo transcurrido, se determina la velocidad del flujo. Para determinar el caudal, se necesita, además, el área transversal por donde fluye el agua.

ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DE INSUMOS Y CONTROL DE DESCARGAS EN LA INDUSTRIA CERVECERA Y BEBIDAS

La revisión de experiencias realizadas en la industria cervecera y de bebidas, tales como las llevadas a cabo en las cervecerías australianas de Carlton (Carlton & United Breweries, 2001) y Cascade (Cascade Brewery Company, 2003), la Cervecería Nacional S.A. de Panamá (Cervecería Nacional S.A, 2005), las cervecerías británicas de J.W. Lees & Co y de Carlsberg-Tetley Burton (Environmental Technology Best Practice Programme, 1996), en las cervecerías chinas de Beijing Yanjing (Prasas. 1998) y Qihihar (ONUDI, 1996) la Embotelladora EMBOL S.A. de Bolivia (CPTS, 2000), los casos de estudio de la cervecería de Europa Occidental (PNUMA/ONUDI, 1994) y la cervecería de Egipto (Massoud, 2003) entre otras; así como las medidas a implementar expuestas en la Guía de Mejoras Técnicas Disponibles en España del Sector Cerveceo (Canales, 2003) y las guías de buenas prácticas Reducing Water and Effluent Costs in Breweries (Environmental Technology Best Practice Programme, 1998) y Cost-effective water saving devices and practices for industrial sites (Envirowise, 2005), permiten resumir las estrategias de PML, especificando medidas para la reducción de insumos y control de descargas, en:

a) Reducción de consumo de energía:

- i) Control y optimización de tasas de evaporación en el proceso de cocción del mosto.
- ii) Recuperación de los vahos de cocción.
- iii) Optimización en la eficiencia de motores y bombas.
- iv) Optimización de la presión en la planta de aire comprimido.
- v) Optimización energética de túneles de pasteurización.
- vi) Aprovechamiento del biogas de las plantas de tratamiento anaerobio de líquidos residuales para la generación de energía.
- vii) Aislamiento térmico de tuberías calientes y frías.

b) *Reducción de consumo de agua:*

- i) Instalación de sistemas automatizados de limpieza.
- ii) Reutilización del agua de los últimos enjuagues de las limpiezas.
- iii) Optimización del control operativo del sistema de limpieza.
- iv) Recirculación del agua de las bombas de vacío.
- v) Optimización del consumo de agua en lavadoras de botellas.
- vi) Optimización del consumo de agua en pasteurizadores.
- vii) Diseño de circuitos de enfriamiento para los tanques de fermentación.
- viii) Reutilización del agua de enfriamiento del mosto.
- ix) Optimización del agua de enfriamiento en los enfriadores de mosto.
- x) Disminución del rebose de los tanques de agua caliente.
- xi) Sustitución de filtros de tierra diatomea por filtros de flujo tangencial.

c) *Disminución de aguas residuales y lodos:*

- i) Recolección de levadura en las etapas de fermentación.
- ii) Recolección de la levadura desgastada para ser utilizados como aditivos para alimentos de animales.
- iii) Recuperación de turbios calientes generados durante el proceso de cocción.
- iv) Recuperación de cabezas y colas de los filtros de cerveza.
- v) Recuperación de la cerveza de los circuitos mediante arrastre de la limpieza.
- vi) Separación de las aguas pluviales de las aguas residuales a tratar.

d) *Disminución de emisiones atmosféricas:*

- i) Descarga controlada de cebada malteada y cereales e instalación de sistemas de aspiración y retención de partículas.
- ii) Recuperación del CO₂ del proceso de fermentación.
- iii) Utilización de combustibles de bajo contenido de azufre.

e) *Disminución de desechos sólidos:*

- i) Reciclaje de residuos de vidrio

- ii) Diseño de las líneas de envasado para la utilización de botellas de vidrio reutilizables.
- iii) Reciclaje de las latas de aluminio.

Un análisis preliminar de las estrategias de reducción de consumo de agua, permiten afirmar que su implantación resulta más sencilla, con menores requerimientos de inversión y con resultados a más corto plazo que las otras, donde por lo general se requiere del uso de temporizadores, intercambiadores de calor, compresores, sistemas de filtración, sistemas de control, entre otros. Esto implica la adquisición de nuevas tecnologías o tecnologías alternas, con inversiones generalmente onerosas y con resultados no tan evidentes o con recuperación de la inversión a más largo plazo.

De esta manera, si se quisiera realizar una jerarquización de las medidas a tomar, las técnicas de reducción de consumo de agua, al presentar resultados inmediatos aplicando estrategias más accesibles, resultan más atractiva y motivan la posterior realización de medidas más complejas o que requerirían mayores tiempos de implantación.

La tabla 4 resume algunas de las estrategias de PML utilizadas en cervecerías, dirigidas a la reducción del consumo de agua, resaltando el impacto al ambiente, las condicionantes y requerimientos para su implantación, además de la cuantificación de recursos y ganancias. Cuando no fue posible obtener información sobre costos y tiempos de retorno de la inversión, éstos fueron estimados, con base en el criterio del autor.

Tabla 4. Estrategias de PML Dirigidas a la Reducción del Consumo de Agua en Cervecerías

Medida	Descripción	Mejora ambiental	Condicionantes y requerimientos	*Costo/ **Retorno
Instalación de sistemas automatizados de limpieza	Sustitución de sistemas manuales de lavado por estaciones de lavado automatizadas de sistemas cerrados	- Reducción del consumo de agua y generación de efluentes del 60 % ⁽¹⁾ - Reducción del consumo de detergentes del 80 % ⁽³⁾	<i>Calidad e inocuidad:</i> asegurar tiempos de paso adecuados para la remoción de sólidos. <i>Riesgos Laborales:</i> equipos de protección para manipulación de soluciones ácidas y alcalinas <i>Instalación de Equipos:</i> arreglo de tuberías, tanques de almacenamiento, bombas, indicadores en línea y sistema de programación <i>Aspectos Técnicos:</i> disposición de espacio físico	Alto/ Mediano ⁽¹⁾
Captación del agua de los últimos enjuagues	El agua utilizada para desplazar los residuos de detergentes poseen condiciones fisicoquímicas óptimas para ser utilizadas para el primer enjuague del lavado automatizado o en otro proceso en la cervecería	- Reducción del consumo de agua y generación de efluentes del 15-20 % ⁽²⁾	<i>Calidad e inocuidad:</i> aplicable cuando la calidad del agua del último enjuague sea adecuada. <i>Riesgos Laborales:</i> no limitante <i>Instalación de Equipos:</i> arreglo de tuberías, tanque de almacenamiento y válvulas neumáticas <i>Aspectos Técnicos:</i> su instalación depende de la dificultad de su adaptación.	Alto/ Mediano ⁽²⁾
Optimización del control operativo de sistemas automatizados de limpieza	Determinar las condiciones óptimas para cada paso de limpieza del lavado automatizado (tiempo, temperatura, concentración de soluciones de limpieza y desinfección)	- Reducción del consumo de agua y generación de efluentes del 23% ⁽¹⁾	<i>Calidad e inocuidad:</i> se debe de asegurar la limpieza adecuada <i>Riesgos Laborales:</i> no limitante <i>Instalación de Equipos:</i> no requeridos <i>Aspectos Técnicos:</i> no limitante	Bajo/ Corto ⁽¹⁾
Recirculación del agua de las bombas de vacío	Instalación de un sistema de recolección de agua para ser reutilizadas en las bombas de vacío	- Reducción del consumo de agua y generación de efluentes del 50 % ⁽²⁾	<i>Calidad e inocuidad:</i> asegurar que el agua de vacío no entre en contacto con la cerveza <i>Riesgos Laborales:</i> no limitante <i>Instalación de Equipos:</i> tanque de recolección y arreglo de tuberías <i>Aspectos Técnicos:</i> espacio físico disponible	Mediano/ Corto ⁽²⁾

Continúa...

Tabla 4. Estrategias de PML Dirigidas a la Reducción del Consumo de Agua en Cervecerías (Continuación)

Medida	Descripción	Mejora ambiental	Condicionantes y requerimientos	*Costo/ **Retorno
Optimización del consumo de agua en lavadoras de botellas	- Regulación del consumo en las últimas etapas del enjuague utilizando placas de orificio o sistemas de control. - Instalación de boquillas difusoras más eficientes que consuman menos agua - Instalación de válvula automática que interrumpa el flujo cuando se presente parada en la línea - Reutilización de efluentes para el prelavado de las botellas	Reducción del consumo de agua y generación de efluentes desde 2-4 hl/hl hasta 0,5-0,8 hl/hl ⁽¹⁾	<i>Calidad e inocuidad:</i> asegurar el lavado adecuado de las botellas <i>Riesgos Laborales:</i> no limitante <i>Instalación de Equipos:</i> arreglo de tuberías, rociadores y sistemas de control. <i>Aspectos Técnicos:</i> no limitante	Bajo-Alto/ Corto-Largo
Optimización del consumo de agua en lavadoras de barriles	- Instalación de boquillas difusoras más eficientes que consuman menos agua - Reutilización de efluentes en el prelavado de las botellas	Reducción del consumo de agua y generación de efluentes del 65 % y de energía en 55 % ⁽⁴⁾	<i>Calidad e inocuidad:</i> asegurar el lavado adecuado de los barriles <i>Riesgos Laborales:</i> no limitante <i>Instalación de Equipos:</i> arreglo de tuberías, rociadores <i>Aspectos Técnicos:</i> no limitante	Mediano/ Corto ⁽¹⁾
Optimización del consumo de agua en pasteurizador	- Ajuste de la recirculación en las etapas de pasteurización - Control de agua fresca y caliente con un sistema de control de temperatura	Reducción del consumo de agua y generación de efluentes del 80 % ⁽²⁾	<i>Calidad e inocuidad:</i> asegurar que se cumplan las unidades de pasteurización requeridas y la calidad del agua <i>Riesgos Laborales:</i> controlar la posibilidad de contaminación del agua con <i>Legionella</i> <i>Instalación de Equipos:</i> sistema de control de temperatura. <i>Aspecto Técnicos:</i> no limitante	Alto/ Mediano
Disminución del rebose de los tanques de agua caliente	- Incremento de la capacidad de almacenamiento del tanque - Modificación de los “set point” de nivel de los tanques	Reducción del consumo de agua y generación de efluentes >50 % ⁽⁵⁾	<i>Calidad e inocuidad:</i> no limitante <i>Riesgos Laborales:</i> no limitante <i>Instalación de Equipos:</i> tanque de almacenamiento <i>Aspectos Técnicos:</i> garantizar el mínimo de agua caliente requerido	Bajo-Alto/ Largo ⁽¹⁾

Continúa...

Tabla 4. Estrategias de PML Dirigidas a la Reducción del Consumo de Agua en Cervecerías (Continuación)

Medida	Descripción	Mejora ambiental	Condicionantes y requerimientos	*Costo/ **Retorno
Reutilización del agua de enfriamiento del mosto	- Uso de agua cervecera para enfriamiento del mosto y luego para la maceración y riego de los filtros de mosto - Utilización del agua sobrante en limpieza, pasteurizadores y lavado de botellas	Reducción del consumo de agua y generación de efluentes del >90 % ⁽²⁾	<i>Calidad e inocuidad:</i> asegurar que el agua cumpla los requerimientos de calidad, químicos e higiénicos <i>Riesgos Laborales:</i> no limitante <i>Instalación de Equipos:</i> tanque de almacenamiento, bombas, tuberías <i>Aspectos Técnicos:</i> depende de las exigencias de agua caliente	Alto/Corto
Optimización del agua de enfriamiento en los enfriadores de mosto	- Instalación de sistemas de control de temperatura - Aumento del área de transferencia de calor para intercambiadores de placa	Reducción del consumo de agua y generación de efluentes hasta 1-1,1 hl/hl ⁽¹⁾		Mediano/ Largo ⁽¹⁾
Sustitución de filtros de tierra diatomea por filtros de flujo tangencial	La filtración de flujo tangencial es una alternativa de la filtración con tierras diatomeas en la etapa de clarificación de la cerveza	- Evita la generación de residuos sólidos con alta DQO - Disminución del consumo de agua y efluentes por preparación y limpieza de filtros del 25% ⁽³⁾ - Disminución de pérdidas de cerveza del 50-60% ⁽²⁾	<i>Calidad e inocuidad:</i> no limitante <i>Riesgos Laborales:</i> no limitante <i>Instalación de Equipos:</i> centrífuga y filtro de flujo tangencial <i>Aspectos Técnicos:</i> alto costo de la membrana de cerámica	Alto/ Mediano- Largo ⁽¹⁾

* Potencial Costo: Bajo (Bs.0-400.000); Medio: (Bs.400.000-4.000.000); Alto (Bs.>4.000.000)

** Tiempo de Retorno Inversión: Corto (meses); Medio: (menos de un año); Largo (más de un año)

⁽¹⁾ Environmental Technology Best Practice Programme (1998); ⁽²⁾ Canales (2003); ⁽³⁾ Cascade Brewery Company (2003);

⁽⁴⁾ Environmental Technology Best Practice Programme (1996), ⁽⁵⁾ Cervecería Nacional S.A. (2005)

EXPERIENCIAS EXITOSAS EN LA IMPLANTACIÓN DE MEDIDAS DE PML PARA EL AHORRO DEL CONSUMO DE AGUA EN INDUSTRIAS CERVECERAS Y BEBIDAS.

La tabla 6 resume las experiencias exitosas en el ahorro del consumo directo de aguas y/o reutilización de efluentes, que se han desarrollado en industrias cerveceras y de bebidas a nivel internacional, con la finalidad de verificar la factibilidad de su aplicación al caso en estudio, destacando el consumo inicial de agua, las medidas implementadas dirigidas a reducir el consumo de agua, el ahorro de agua y de dinero alcanzado a partir de la implementación de las medidas descritas y el tiempo de retorno de las inversiones realizadas.

El ahorro de dinero alcanzado en cada una de las experiencias citadas, solo incluye el generado por la disminución del consumo de agua, no toma en cuenta el ahorro que se percibe por concepto de manejo y tratamientos de efluentes.

La información expuesta en la tabla 5 refleja el importante ahorro de agua obtenido en los casos expuestos, de hasta un 60 % en la Cervecería The Cascade de Australia. La cantidad de agua ahorrada en cada cervecería depende de la amplitud del programa de reducción de consumo de agua aplicado, además de las condiciones de operación, el grado de automatización y la tecnología existente previo a la implementación de las medidas para optimizar el consumo de agua.

De los casos expuestos únicamente la Cervecería de Europa Occidental, es una instalación moderna, destacando su índice inicial de consumo de agua, significativamente menor al de los demás casos, y un porcentaje de ahorro de agua alcanzado de apenas 1,1 %, lo cual es debido a su alto nivel tecnológico y de automatización.

Tabla 5. Experiencias Exitosas en el Ahorro del Consumo de Agua en Industrias Cerveceras y de Bebidas

Compañía/ País	Nº Empleados/ Producción	Índice o consumo de agua original	Medidas Implementadas	Ahorro total de agua	Ahorro Dinero	Retorno de inversión
Cervecería de Europa Occidental ⁽¹⁾	-/ 1.375m³/día	2 hl/hl	- Reutilización de últimos enjuagues - Reutilización de rebose de tanque de agua caliente - Reutilización de agua de pasteurizador	1,8 hl/hl Reducción del 1,1%	26.197.060 Bs./año	-
Cervecería J.W. Lees & Co/Inglaterra ⁽²⁾	160/ 14.070 m³/año	12,97 hl/hl	- Instalación de medidores de flujo - Optimización del consumo de agua caliente proveniente del enfriamiento del mosto - Instalación de sistema de control de nivel en el tanque de agua caliente - Sustitución de válvulas en mal estado - Instalación de nuevos aspersores para el lavado de barriles	7,78 hl/hl Reducción del 40%	364.364.700 Bs./año	3 meses
Cervecería Carlsberg- Tetley Burton/ Inglaterra ⁽³⁾	-/ 360.000 m³/año	66.150 m³/año en lavado de barriles	- Instalación de nuevos aspersores para el lavado de barriles - Reutilización del agua de lavado de los barriles en la etapa de pre-lavado	43.000 m³/año Reducción del 65% del agua para lavado de barriles	363.945.890 Bs./año	13 meses
Cervecería Panamá S.A./Panamá ⁽⁴⁾	907/-	9,87 hl/hl	- Instalación de medidores y totalizadores de flujo - Instalación de sistema de supervisión del consumo de agua y vapor. - Ajustes a la recirculación entre las etapas de pasteurización. - Instalación de sistemas de control de temperatura, que regula el consumo de agua en el pasteurización. - Reutilización de efluentes de diferentes - Instalación de intercambiador central de un pasteurizador	5,54 hl/hl Reducción del 43,7 %	216.545.113 Bs./año	18 meses

Continúa...

Tabla 5. Experiencias Exitosas en el Ahorro del Consumo de Agua en Industrias Cerveceras y de Bebidas (Continuación)

Compañía/ País	Nº Empleados/ Producción	Índice o consumo de agua original	Medidas Implementadas	Ahorro total de agua	Ahorro Dinero	Retorno de inversión
Embotelladora EMBOL S.A/ Bolivia ⁽⁵⁾	-/ 26.760 m³/año	4,67 hl/hl	- Instalación de sopladores de aire para evitar arrastre de soda en la lavadora de botella - Instalación de sistema de control on-off para el suministro de agua en lavadora de botella - Optimización del consumo de agua en el lavado de filtro de carbón activado - Reparación de fugas de agua	3,36 hl/hl Reducción del 28%	14.348.900 Bs./año	7 meses
Cervecería Beijing Yanjiing/ China ⁽⁶⁾	3.200/ 250.000 m³/año	-	- Aumento de la capacidad del almacenamiento del agua caliente proveniente del enfriamiento el mosto - Reutilización del agua de las últimas etapas de lavado de botellas y vacíos como pre-enjuague - Mejoras en el consumo de agua para lavado del suelo	184.580 m³/año Reducción del 11 % de efluentes	124.673.850 Bs./año	24 meses
Cervecería Qiqihar/ China ⁽⁷⁾	1.200/ 70.000 m³/año	26,5 hl/hl	- Recuperación del agua caliente proveniente del enfriamiento el mosto - Enfriamiento con agua fría de una etapa en vez de dos etapas	18,96 hl/l Reducción del 28 %	236.481.359 Bs./año	30 meses
Cervecería Egipcia/ Egipto ⁽⁸⁾	-/-	1.480.556 m³/año	- Instalación de medidores de flujo y monitoreo del consumo de agua de todas las operación - Instalación de válvulas reguladoras en las mangueras de las máquinas para lavado del suelo - Reutilización del agua del pasteurizador y de lavado - Reciclaje el agua de retro lavado de los filtros de arena	266.500 m³/año Reducción del 18%	-	12 meses

Continúa...

Tabla 5. Experiencias Exitosas en el Ahorro del Consumo de Agua en Industrias Cerveceras y de Bebidas (Continuación)

Compañía/ País	Nº Empleados/ Producción	Índice o consumo de agua original	Medidas Implementadas	Ahorro total de agua	Ahorro Dinero	Retorno de inversión
Cervecería The Cascade/ Australia ⁽⁹⁾	-/-	14,82 hl/hl	- Instalación de un circuito de enfriamiento de los tanques de fermentación - Reutilización del agua de pasteurizadores - Sustitución de intercambiadores de calor por equipos más eficientes - Recuperación del vapor condensado - Aumento de la capacidad del almacenamiento del agua caliente proveniente del enfriamiento el mosto - Reutilización del agua de enjuague proveniente de limpieza de equipos - Reutilización del agua de los compresores de aire y CO₂ - Sustitución de los filtros de tierra diatomea por equipos de ultra filtración - Automatización de sistemas automatizado de limpieza	6,03 hl/hl Reducción del 60%	-	-
Cervecería Carlton & United/ Australia ⁽¹⁰⁾	500/ 600.000 m ³ /año	5,6 hl/hl	- Reutilización del agua de lavado de las líneas de envasado	5,1 hl/hl Reducción del 7%	-	-
⁽¹⁾ PNUMA/ONUDI (1994).. (2003); ^{(2) (3)} Environmental Technology Best Practice Programme (1996); ⁽⁴⁾ Cervecería Nacional S.A. (2005) ⁽⁵⁾ Centro de promoción de tecnologías sostenibles - CPTS (2000); ⁽⁶⁾ Prasas, M. (1998); ⁽⁷⁾ ONUDI (1996); ⁽⁸⁾ Massoud Mohamed, S. (2003); ⁽⁹⁾ Cascade Brewery Company (2003); ⁽¹⁰⁾ Carlton & United Breweries (2001).						

Por otra parte a través del estrato de ocupación de las cervecerías se puede inferir el grado de automatización y tecnológico de las misma. De tal manera que en aquellas cervecerías donde es mayor su estrato de ocupación, menor es su grado de automatización y tecnológico, lo cual se traduce en mayores oportunidades de ahorro del consumo de agua. Esta tendencia se puede observar en el caso de las cervecerías J.W. Lees & Co. de Inglaterra y la de Oiqihar de China con respecto a la cervecería de Carlton & United de Australia, donde las primeras, que poseen un mayor número de trabajadores, obtuvieron un mayor porcentaje de ahorro de agua (28 % y 40 % respectivamente) en relación con la segunda (9 %).

Con relación al tiempo de retorno de la inversión realizada en la implementación de las medidas de reducción del consumo de agua, se puede observar que van desde tres meses en el caso de la cervecería J.W. Lees & Co. de Inglaterra hasta dos años y medio en el caso de la cervecería de Oiqihar de China, considerándose éstos como una inversión muy atractiva en términos económicos para todos los casos expuestos (CPTS, 2000). La cantidad de dinero ahorrada va depender de los costos económicos de implementación realizada y del valor del insumo de agua de cada cervecería donde se realizaron las experiencias citadas.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Con base en el análisis de los Principios de Producción Más Limpia, señalados en el capítulo anterior y considerando las necesidades inmediatas presentadas por la gerencia de la empresa utilizada como caso de estudio, se analizaron las variables que inciden en las oportunidades de reducción del consumo de agua en la cervecería.

Para ello, se ejecutó el trabajo en cuatro (4) etapas, partiendo del diagnóstico de la situación actual, donde se describe y cuantifica la situación del consumo de agua, así como las prácticas operacionales que influyen en él, para concluir en la generación de propuestas dirigidas a su reducción y/o mejor aprovechamiento, acompañadas de la factibilidad técnico-económica de su implantación.

A continuación se describe cada una de las etapas, así como las herramientas, instrumentos y técnicas para la recopilación y análisis de la información:

Etapas 1. Diagnóstico General de la Situación Actual del Consumo de Agua de la Cervecería

- a) Análisis de consumos globales y selección de áreas de estudio de la cervecería.
 - i) Identificación de las áreas de la cervecería y sistemas que las conforman.
 - ii) Revisión de los registros de consumos de agua existentes en la empresa, para cada una de las áreas de la cervecería y sistemas que las conforman.
 - iii) Análisis de las áreas de la cervecería, en función de los registros de consumo total de agua, variabilidad del consumo de agua en el tiempo, relación del consumo con valores referenciales según la empresa o extraídos de publicaciones especializadas; mediante representación gráfica y estudio de la tendencia de los registros.
 - iv) Selección de aquellas áreas y respectivos sistemas de la cervecería que presenten un mayor consumo total de agua, inestabilidad en su

comportamiento a través del tiempo y registros alejados de los valores referenciales.

b) Análisis de los elementos organizativos involucrados.

- i) Identificación de los departamentos involucrados en las áreas de estudio.
- ii) Ubicación de las áreas de estudio seleccionadas así como las relaciones entre ellas, en el organigrama suministrado por la empresa.
- iii) Entrevistas con los gerentes y superintendentes de las áreas de estudio con el objetivo de comunicar las razones del proyecto a realizar y las metas a lograr con la intención de despertar su interés y facilitar su colaboración para su desarrollo.
- iv) Identificación de las líneas de mando y competencias de los gerentes y superintendente de las áreas de estudio.
- v) Elaboración de un esquema funcional con los departamentos y personal involucrados para la conformación del equipo de trabajo.

Etapla 2. Diagnóstico Detallado de los Sistemas Seleccionados

a) Análisis de las características, variables de operación y estrategias de control.

- i) Recolección y organización de la información referentes a las características de operación de los sistema en estudio mediante inspecciones en campo y entrevistas con el personal de operación, además del análisis de documentos técnicos disponibles en la empresa tales como diagramas de bloques, diagramas de tuberías e instrumentación, manuales de operación, informes previos, entre otros.
- ii) Consulta de condiciones normales y variables de proceso asociadas con cada sistema por medio de manuales de equipos, instructivos de operación y entrevistas con el personal técnico de operación.
- iii) Identificación de las variables y estrategias de control utilizadas en los sistemas en estudio por medio de la revisión de los diagramas de tuberías e

instrumentación, manuales de operación, entrevista con el personal técnico, inspección directa en planta y en las salas de control.

- iv) Identificación de las prácticas operacionales de los sistemas en estudio a partir de material técnico de la empresa tal como instructivos de operación, además de la entrevista con el personal del área.

b) Determinación del consumo de agua y caudales de operación.

- i) Identificación de las tuberías de suministro de agua en los sistemas en estudio, detallando la ubicación de los contadores de agua dentro de los mismos, mediante la inspección visual en campo y la revisión de documentos técnicos de la empresa tales como diagramas de tuberías e instrumentación, entre otros. Esto se hizo con el objetivo de identificar las actividades asociadas a las lecturas de los contadores de agua y su relación con los registros manejados en la empresa.
- ii) Elaboración de balances de masa en los sistemas analizados, para la determinación de sus respectivos consumos de agua, a partir de los registros de los contadores de agua.
- iii) Determinación de los tiempos de operación de los sistemas estudiados a través de registros de variables de proceso, frecuencias de operación, índices de productividad y eficiencia, programas de producción, entre otros, para el cálculo de sus respectivos caudales de agua en operación.
- iv) Utilización de métodos no convencionales para la determinación de caudales de agua en operación, tales como aforos volumétricos y químicos, cuando no se disponga de registros del consumo de agua.
- v) Elaboración de balances de energía en los sistemas analizados, como información complementaria para la determinación de sus caudales y consumos de agua durante su operación.
- vi) Para la determinación de los caudales de agua en los intercambiadores de calor, se utilizó el programa de simulación de procesos Pro II 7.0, partiendo de las condiciones de operación actuales que estos presentan.

- c) Determinación de problemas recurrentes relacionados con el consumo de agua .
 - i) Análisis de la relación entre la producción y tiempos de operación diaria de los sistemas en estudio, con respecto a sus registros de consumo de agua.
 - ii) Entrevistas con el personal de operación acerca de los problemas presentados en los sistemas analizados que impliquen un consumo de agua innecesario.
 - iii) Corroboración del cumplimiento de las condiciones normales de operación mediante inspecciones en planta y salas de control.
 - iv) Evaluación del funcionamiento de los sistemas de control por medio del análisis de registros de las variables de control disponibles en las áreas de estudio (Variable controlada vs. Tiempo) y corroboración en planta.
 - v) Corroboración de las prácticas operacionales y el cumplimiento de los procedimientos escritos, además de la identificación de problemas producto de situaciones que no se contemplen o se traten de manera deficiente en los instructivos de operación.
 - vi) Elaboración de matrices de Problemas vs. Causas, tablas y gráficos comparativos que permitan una mejor comprensión de la problemática existente.

Etapas 3. Propuesta de Ahorro de Agua

- a) Reducción del consumo de agua en las áreas y sistemas de estudio.
 - i) Investigación referencial de mecanismos utilizados para el ahorro de agua, tales como guías de Mejoras Técnicas Disponibles para la industria cervecera, experiencias exitosas llevadas a cabo en otras industrias cerveceras y de bebidas, entre otros. Esto tiene como finalidad identificar qué medidas y mejoras son aplicables al caso de estudio
 - ii) Con base en las condiciones de operación especificadas, determinación de caudales de agua óptimos de operación mediante el análisis del balance de masa y energía de los sistemas en estudio, sin afectar la calidad y la eficiencia de la operación.

- iii) Análisis de medidas de regulación y optimización del consumo de agua de los sistemas en estudio.
 - iv) Diseño o mejoramiento de las estrategias de control existente en los sistemas analizados, que optimicen su consumo de agua.
 - v) Diseño o mejoramiento de prácticas operacionales de los sistemas en estudio, que impliquen un consumo de agua más eficiente.
- b) Reutilización de efluentes de las diversas áreas y equipos en estudio.
- i) Investigación referencial de mecanismos utilizados para la reutilización de efluentes tales como guías de Mejoras Técnicas Disponibles para la industria cervecera, experiencias exitosas llevadas a cabo en otras industrias cerveceras y de bebidas, entre otros.
 - ii) Selección y cuantificación de los efluentes con potencial de reutilización en función de las características del proceso en el cual interviene y posterior caracterización, con base en análisis de calidad de los efluentes, tales como: conductividad, pH, alcalinidad, dureza e índice de Langelier.
 - iii) Determinación de los diferentes sistemas de la cervecería en los que pueden ser reutilizados los efluentes analizados, en función de las especificaciones de calidad de agua requerida por éstos, información suministrada por la Gerencia Técnica de Aguas y Ambiente de la empresa.
 - iv) Diseño de los sistemas de recolección de efluentes y su canalización hacia los sistemas donde serán reutilizados.

Etapla 4. Factibilidad Técnico-Económica de las Propuestas de Ahorro de Agua

- a) Factibilidad Técnica.
 - i) Análisis de la factibilidad técnica de implantación de las propuestas realizadas en función de las características de las instalaciones y equipos involucrados.

- ii) Los precios de los equipos e instrumentos a implementar serán obtenidos a través del Departamento del Almacén Central de la cervecería, además de información de fabricantes extraídas de Internet.
 - iii) Los costos de instalación son suministrados por las diferentes contratistas que ofrecen sus servicios en la cervecería.
- b) Factibilidad Económica.
- i) Estimación del ahorro de agua ocasionado por las medidas propuestas en cada una de las áreas analizadas de la cervecería, tanto por consumo como por tratamiento de efluentes.
 - ii) Realización del estudio económico para la determinación del tiempo de retorno de la inversión, requerida para la ejecución de las propuestas realizadas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados productos del análisis del consumo de agua en la cervecería, de manera global y detallada que se traducen en la identificación de oportunidades de ahorro.

En primer lugar se analizaron los consumos globales a fin de identificar los sistemas que destacan, bien sea por sus elevados consumos de agua como por su irregular comportamiento, los cuales son posteriormente analizados individualmente en detalle, considerando sus características, variables de operación y sistemas de control, la cuantificación de consumos y caudales de agua en operación, y la detección de las causas de los problemas recurrentes que generan gastos innecesarios.

En segundo lugar se analizan las oportunidades de ahorro y factibilidad técnico-económica de la propuestas en los sistemas seleccionados y, adicionalmente, con base en las medidas de PML, fueron analizados las posibilidades de ahorro en otros sistemas, los cuales no resultaron evidentes en el análisis de los registros de consumo de la cervecería.

DIAGNÓSTICO GENERAL DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL CONSUMO DE AGUA EN LA CERVECERÍA

Con la idea de realizar un análisis sistemático de la situación de consumo de agua en la cervecería, a continuación se presenta los resultados del análisis de los registros existentes en la empresa, así como la conformación de los equipos de trabajo, con base en la identificación de los elementos organizativos asociados al tema de estudio.

Análisis de Consumos Globales y Selección de Áreas de Estudio

El análisis del consumo de agua actual en la cervecería fue organizado en cuatro áreas principales, siguiendo el esquema que utiliza la Superintendencia de

Tratamiento de Aguas de la cervecería: Envasado, Servicios Industriales, Elaboración y Planta de Tratamiento de Aguas Blancas (PTAB). Las áreas no cerveceras no fueron consideradas en el análisis. La tabla 6 enumera los sistemas incluidos en cada una de las áreas consideradas.

Tabla 6. Sistemas Pertenecientes a las Áreas Principales de la Cervecería

Área	Sistemas
Envasado	Lavado de botellas
	Pasteurización
	Llenado de botellas
Servicios Industriales	Reposición Calderas
	Refrigeración de bombas y compresores (Agua Suave)
	Agua Helada
	Refrigeración de bombas y compresores (Agua Filtrada)
Elaboración	Cocimiento
	Fermentación
	Filtración
Planta de Tratamiento de Aguas Blancas (PTAB)	Agua suave
	Agua desmineralizada
	Filtros de arena y carbón
	Agua descarbonatada
No Cerveceras	Edificio administrativo
	Condominio

La empresa dispone de un total de 64 contadores de agua, de los cuales 4 permiten llevar registros diarios del volumen de agua cruda que ingresa a la cervecería y el resto registra los consumos de agua de los diversos sistemas que conforman las áreas señaladas.

A partir de los registros diarios de los contadores de agua y de la producción de cerveza y malta, la Superintendencia de Tratamiento de Aguas genera gráficas semanal y mensualmente del índice de consumo de agua por cerveza envasada para la cervecería en general, en cada una de sus áreas, sistemas, procesos unitarios y actividades asociadas.

Para el análisis de consumos globales de la cervecería y selección de las áreas de estudio, la empresa facilitó los registros de los índices de consumo de agua

mensuales desde octubre 2004 hasta julio 2006, así como los índices referenciales para cada uno, lo que permitió disponer de amplia información para apreciar el comportamiento global.

La figura 7 permite observar que el comportamiento del índice de consumo de agua de la cervecería es inestable, variando entre 4,39 y 5,65 hl agua/ hl cerveza envasada, que oscilan alrededor del índice de consumo referencial de la empresa (5 hl agua/ hl cerveza envasada). Estos valores están incluidos en el extremo inferior del rango de valores referenciales de cervecerías internacionales de 4,90 y 12,64 hl agua/hl cerveza envasada (Kunze, 1999), teniendo en cuenta que la cervecería en estudio tiene una antigüedad de más de 50 años.

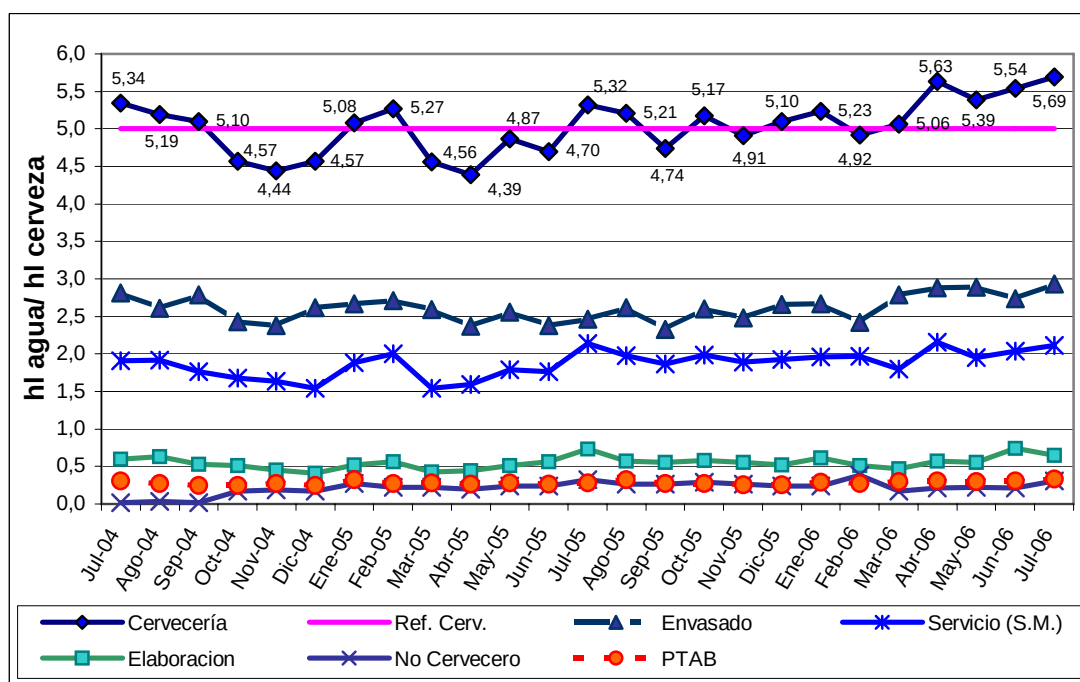


Figura 7. Índice de Consumo de Agua de la Cervecería
[Superintendencia de Tratamiento de Aguas]

Sin embargo llama la atención la tendencia al alza que se produjo a partir de marzo hasta julio del 2007, con un promedio de consumo de 5,46 hl agua/hl cerveza, alcanzando valores de hasta 5,69 hl agua/hl cerveza.

Por contraparte, en otros períodos el consumo promedio oscila alrededor de 4,5 hl agua/hl cerveza (octubre-diciembre 2004, marzo-abril 2005), lo cual permite

suponer que en la cervecería existen operaciones cuyos consumos de agua no están siendo regulados eficientemente y que estén alejados de sus valores de diseño.

Con base en el análisis de la figura, las áreas de envasado y sala de máquinas, que representan aproximadamente el 50% y 40% respectivamente del consumo total, presentan un comportamiento irregular similar, con la misma tendencia al alza en el último período señalado, razón por lo cual se concentra el análisis en las operaciones que se realizan en dichas áreas, así como en el área de elaboración, que representa el mayor consumo dentro de las restantes áreas (aproximadamente 10%)

Área de Envasado

La figura 8 permite observar el índice de consumo de agua del área de envasado, el cual muestra un comportamiento inestable donde, salvo casos puntuales, el índice reportado es mayor al valor referencial de la empresa (2,45 hl agua/ hl cerveza) e incluso fuera del rango de valores referenciales de 1,79-2,86 hl agua/hl cerveza envasada (Kunze, 1999).

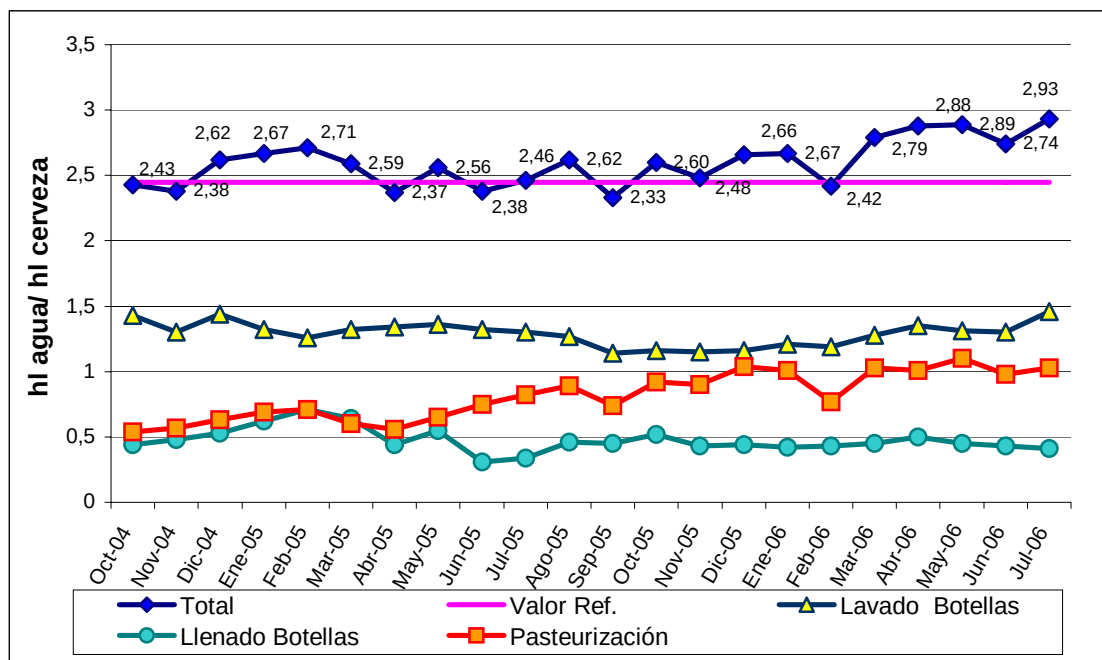


Figura 8. Índice de Consumo de Agua del Área de Envasado
[Superintendencia de Tratamiento de Aguas]

Analizando los registros de los sistemas del área de envasado, el mayor aporte (cerca del 50%) lo constituyen el lavado de botellas, destacando un comportamiento inestable y valores medianamente alejados de los referenciales que implican un consumo óptimo de agua (0,5-0,8 hl agua/hl cerveza - Canales, 2003) aunque en el extremo inferior del rango de valores referencial internacional de 2-4 hl agua/hl cerveza envasada (Kunze, 1999). Cabe resaltar que en este sistema se utiliza tanto agua suave como agua recuperada, pero los registros corresponden sólo a la primera, por lo cual el índice debería ser mayor (aproximadamente el doble).

También se aprecia la tendencia al alza del índice de consumo de agua en el período febrero - julio 2007, cuyo promedio de 1,32 hl agua/ hl cerveza significa un aumento del 13 % con respecto al promedio correspondiente al período septiembre 2006 - enero 2007 (promedio de 1,17 hl agua/ hl cerveza envasada), lo que pudiera deberse a regulación inadecuada del consumo de agua en lavado de botellas y, en consecuencia, una oportunidad de ahorro de agua en esta operación.

Al observar la tendencia del índice de consumo del sistema de pasteurización, este ha ido en franco ascenso en todo el período mostrado en la figura 7, partiendo desde un 20% del consumo total hasta constituir aproximadamente un 35%, lo que también refleja la inexistencia de control adecuado en este sistema.

Con respecto al índice de consumo del agua del sistema de llenado de botellas, entre octubre 2004 y febrero 2005 tuvo una tendencia al alza, pero posteriormente se revierte la tendencia hasta prácticamente estabilizarse en un valor de 0,43 hl agua/ hl de cerveza, dando a entender los controles realizados surtieron efecto.

En resumen, en el área de envasado, los sistemas de lavado de botellas y pasteurización, representan una importante oportunidad de ahorro de agua.

Área de Servicios Industriales

La figura 9 muestra el comportamiento irregular del índice de consumo de agua y de las operaciones asociadas al área de servicio de sala de máquina, variando entre 1,54 y 2,16 hl agua/ hl cerveza y específicamente a partir de julio 2005 los consumos son mayores al valor referencial de la empresa (1,85 hl agua/ hl cerveza).

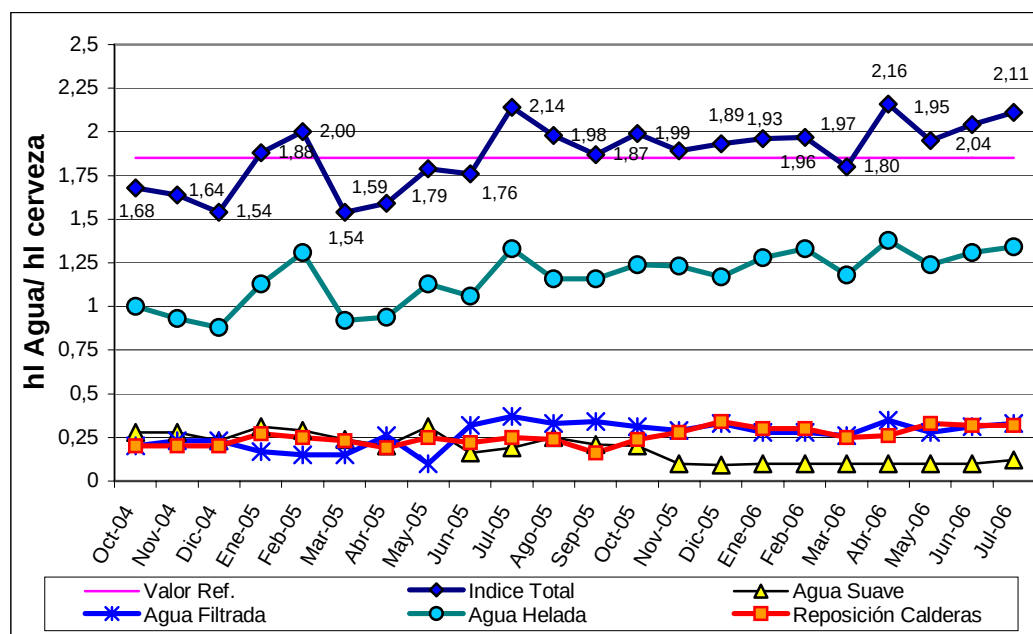


**Figura 9. Índice de Consumo de Agua del Área de Servicio de Sala de Máquina
[Superintendencia de Tratamiento de Aguas]**

En esta área el índice está claramente influenciado por el sistema de Agua Helada, que presenta un comportamiento fluctuante, con tendencia hacia la alza. Este registro, aunque se realiza en el área de servicios, no es un consumo propio de ésta, sino que indica la cantidad de agua cervecera que se enfría, requerida para el proceso de enfriamiento del mosto. Puede observarse que, a partir de julio 2005 el valor del índice incrementa constantemente, superando el índice óptimo de consumo de agua (1-1,1 hl agua/hl cerveza - Environmental Technology Best Practice Programme, 1998).

Esto genera la necesidad de estudiar tanto el proceso de enfriamiento de agua en esta área y el proceso de intercambio de calor con el mosto en el área de elaboración, para así encontrar la explicación de la variabilidad en el consumo de agua cervecera fría, así como el potencial de ahorro.

Con referencia a los otros sistemas, los cuales aportan en el orden de un 10% cada uno, se observa una reducción del consumo de agua suave, que es compensado con el incremento de agua filtrada, ya que ambas se utilizan en el sistema de

refrigeración de bombas y compresores. Por su parte, el consumo por reposición de calderas, sufrió un aumento permanente a partir de octubre 2006, ocasionado por problemas de incrustaciones, lo que obligó la reducción de la recuperación de condensado e incrementó el consumo de agua desmineralizada, sin embargo, las medidas para su ajuste ya fueron consideradas por la empresa.

Área de Elaboración

El índice de consumo de agua del área de elaboración reflejado en la figura 10, igual que en los casos anteriores, presenta un comportamiento variable, alejándose del valor referencial para esta área de la empresa (0,55 hl agua/ hl cerveza), alcanzando valores hasta de 0,74 hl agua/ hl cerveza (julio 2005 y junio 2006).

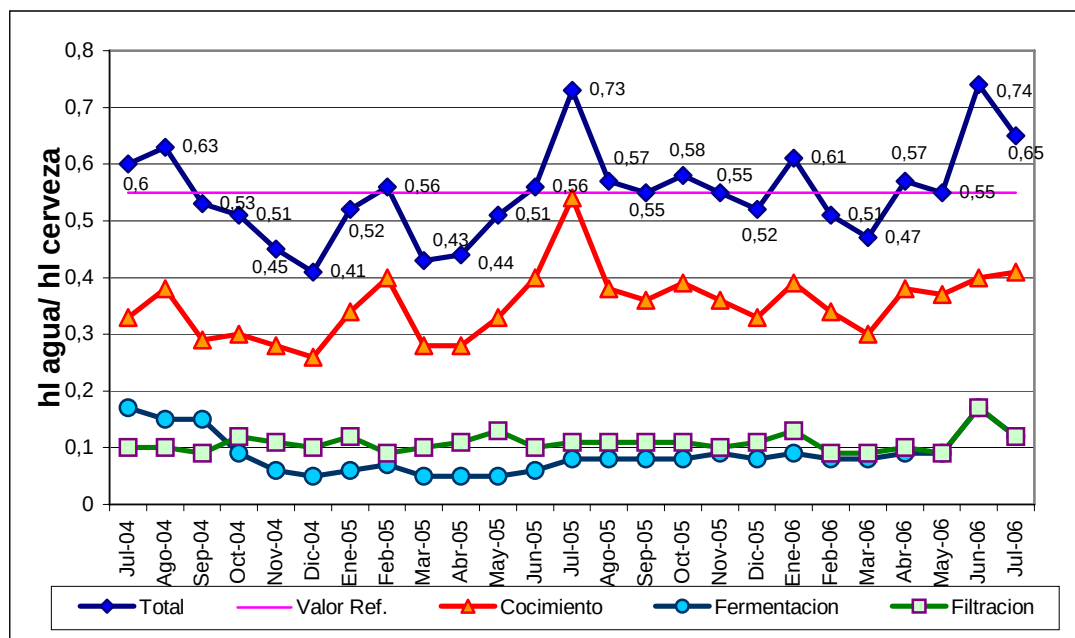


Figura 10. Índice de Consumo de Agua del Área de Elaboración
[Superintendencia de Tratamiento de Aguas]

En esta área, el índice de consumo está determinado por el comportamiento del sistema de cocimiento, el cual registra principalmente la reposición de agua

cervecera caliente y fresca al sistema de tanques, donde se almacena el agua caliente proveniente del enfriamiento del mosto.

La interrelación entre el consumo de agua del sistema de cocimiento y la del sistema de Agua Helada explicada anteriormente, obligó su estudio en conjunto, para así determinar las razones de dichas fluctuaciones y optimizar el consumo de agua cervecera.

Por otra parte, el agua utilizada en los sistemas de fermentación y filtración principalmente para el lavado de equipos, entre junio 2005 y mayo 2006, presenta un comportamiento relativamente estable y similar, muy por debajo de los valores referenciales de 0,97-1,56 hl agua/hl cerveza (Kunze, 1999) para las etapas de fermentación y maduración del mosto, y 0,47-0,76 hl agua/hl cerveza envasada (Kunze, 1999) para la etapa de filtración de la cerveza.

Sin embargo para los meses de junio y julio 2006, ambas experimentan un incremento repentino de hasta un 47 %, hecho que ameritó su análisis, lo que lo convierte en una oportunidad de ahorro del consumo de agua.

Identificación de Elementos Organizativos y Conformación de Equipos de Trabajo

Como resultado del análisis anterior, los sistemas seleccionados para evaluar su potencialidad de ahorro de agua fueron: lavado de botellas, pasteurización, agua helada-enfriamiento de mosto- cocimiento, y lavado de equipos para los procesos de fermentación y filtración.

Para garantizar el éxito y aplicabilidad de los resultados del estudio, se identificaron los departamentos de la cervecería, líneas de mando e interrelaciones entre ellos, y fueron conformados los equipos de trabajo para el suministro de información y asistencia técnica.

La figura 11 muestra el organigrama de la gerencia general de la planta, resaltando las departamentos involucrados y las relaciones entre ellas.

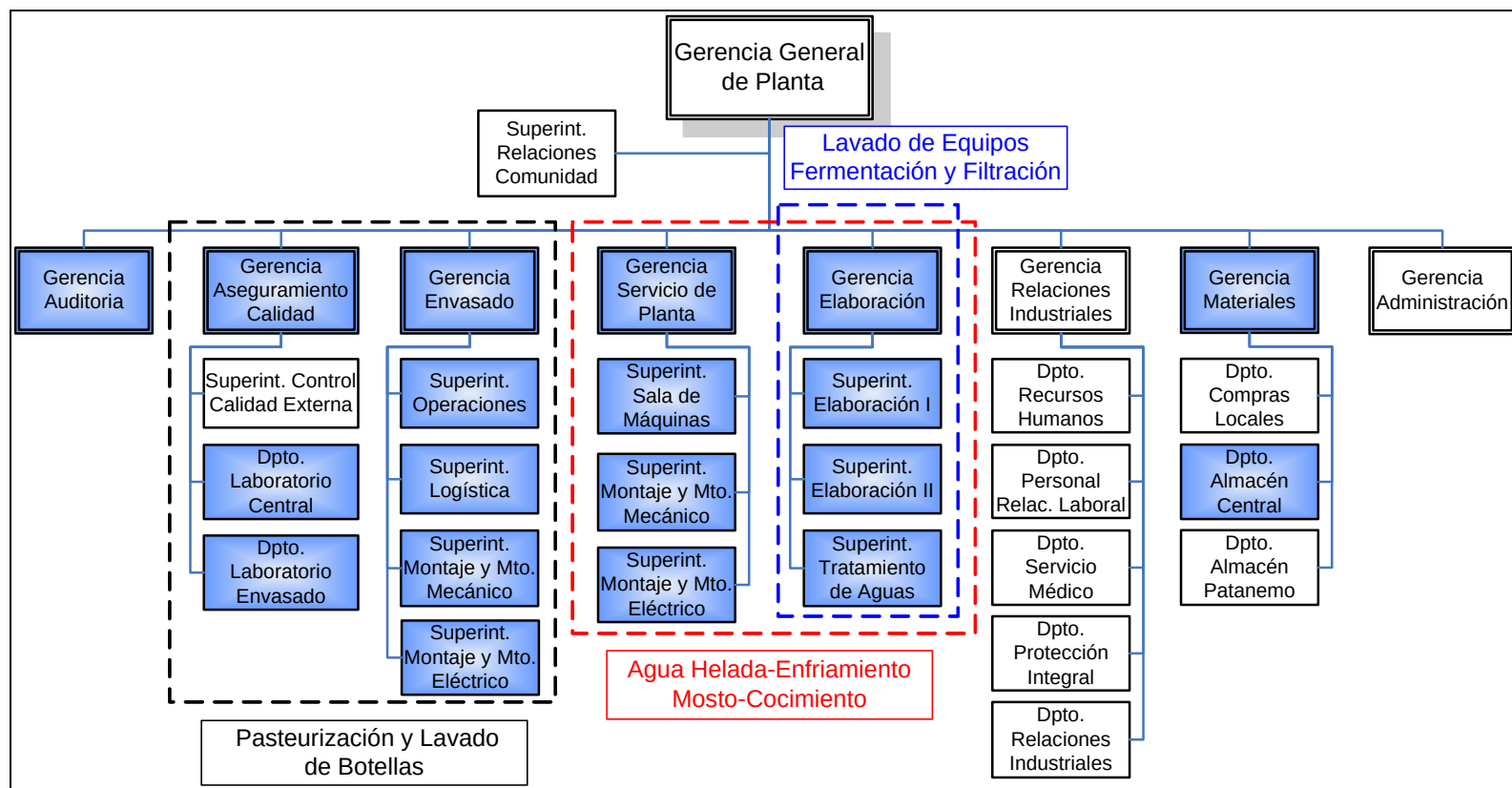


Figura 11. Organigrama de la Cervecería [Elaboración Propia]

Adicionalmente, las dependencias que se especifican a continuación, suministraron información fundamental para el desarrollo del proyecto:

- a) *Superintendencia de Tratamientos de Aguas*: registros de los consumos de agua, características de calidad de las aguas para las distintas operaciones en la cervecería, planos de los sistemas de suministro de agua en la cervecería y costos de tratamientos de los diferentes tipos de agua.
- b) *Gerencia de Auditoria de Procesos*: características y variables de operación de los sistemas en estudio.
- c) *Departamento de Almacén Central*: precios de equipos e instrumentos a implementar.
- d) *Departamento de Laboratorio Central*: equipos y procedimientos para la caracterización de muestras de agua.

DIAGNÓSTICO DETALLADO DE LOS SISTEMAS SELECCIONADOS

Para el diagnóstico de los sistemas seleccionados, en primer lugar se procedió a detallar las características, variables de operación y sistemas de control de éstos, relacionados con su consumo de agua. Esto permitió recolectar la información requerida para la identificación y cuantificación del consumo de agua de los sistemas en estudio, con el objetivo de detectar los problemas recurrentes presentados, que se traducen en los altos e inestables consumos de agua registrados.

Sistema de Lavado de Botellas

Características, Variables de Operación y Sistema de Control

El área de envasado de la cervecería en estudio, dispone de cuatro líneas de envasado de botellas retornables, las cuales cuentan cada una con una lavadora de botellas industrial. Dos poseen una velocidad de 2312 botellas/min y las otras dos una velocidad de 1480 botellas/min. La figura 12 muestra el diagrama de las lavadoras de botellas.

Las características de operación de los tanques que conforman las lavadoras de botellas se explican a continuación:

Tanque N° 1: prelavado de botellas y eliminación de residuos sólidos que se encuentran dentro de éstas (pitillos, colillas de cigarro, etc.). Se descarga permanentemente en el desagüe.

Tanque N° 2: inmersión de botellas en solución de baja concentración de soda a 50 °C, proveniente del trasiego del tanque N° 7 al término de la última operación. Su contenido es vaciado durante la limpieza de la lavadora.

Tanques N° 3 al 6: inmersión en soluciones de soda cáustica con concentraciones entre 2 y 3 % p/p, y temperatura entre 70 y 80 °C. Estas soluciones son preparadas semanalmente, y la concentración es corregida por un sistema de control. Su contenido es vaciado durante la limpieza de la lavadora.

Tanque N° 7: inmersión de botellas en agua recuperada para el primer enjuague. Debido al arrastre de la solución de soda proveniente del tanque N° 6, es necesario suministrar agua recuperada para controlar la concentración del tanque en menos de 2 % p/p y la temperatura menor a 55 °C, donde a medida que ingresa el agua, el tanque se rebosa y el exceso se conduce al desagüe. El control del suministro de agua no es muy riguroso, debido a que es regulado con una válvula de paso, cuya apertura es establecida a criterio del operador, lo que implica consumo de agua en exceso. Su contenido es vaciado durante la limpieza de la lavadora.

Tanque N° 8: es un tanque de enjuague, cuyos principios de funcionamiento y control del suministro de agua son similares al tanque N° 7, utilizando agua suave para controlar la temperatura en un rango de operación de 38-45 °C y la concentración de soda en valores menores al 0,2 % p/p. Posee un sistema de control on-off que interrumpe el suministro de agua a través de una válvula neumática cuando el sensor de movimiento detecta una parada en la lavadora. Su contenido es vaciado durante la limpieza de la lavadora.

Tanque N° 9: recibe agua del tanque N° 10 y es bombeada hacia los inyectores para el lavado interno de las botellas, así como hacia la bandeja superior para el lavado externo. De este tanque el agua sale a un tanque de recolección, para el

prelavado de las botellas y hacia la lavadora de gaveras. Su contenido es vaciado durante la limpieza de la lavadora.

Tanque N° 10: se realiza el último enjuague de las botellas. Los dos últimos inyectores del tanque se alimentan con agua suave y los inyectores anteriores utilizan agua recirculada del mismo tanque. Su rebose va hacia el tanque N° 9. Su contenido es vaciado durante la limpieza de la lavadora.

Limpieza y Puesta a Punto de las Lavadoras: Las lavadoras de botellas tienen dos tipos de limpieza, la primera profunda la cual se realiza al terminar la semana de producción o cuando hay un cambio de malta a cerveza o viceversa. El consumo de agua radica en limpiar con desinfectante los tanques N° 9 y 10, enjuagarlos por un espacio de 15 min. y el llenado los tanques N° 7, 8, 9 y 10.

El segundo tipo de limpieza es el de rutina, realizado cada 72 horas cuando se envasa cerveza y cada 12 horas cuando se envasa malta. Implica solo el vaciado y llenado los tanques N° 7, 8, 9 y 10.

Para la puesta a punto, una hora antes de comenzar a operar la línea de envasado, se pone en marcha la lavadora para que los tanques de soda homogenicen su temperatura y para cargar la lavadora con las botellas, lo cual conlleva el consumo de agua suave en los tanques N° 8 y 10.

Cuantificación del Consumo de Agua en los Tanques N° 7, 8 y 10

El consumo de agua en las lavadoras que podrían ser significativos para considerar su ahorro, está constituido por el agua recuperada que ingresa al tanque N° 7 y el agua suave que ingresa en el tanque N° 8, en ambos casos para controlar su concentración y temperatura.

Por otra parte el agua suave utilizada en el tanque N° 10, para el último enjuague de las botellas es considerable, por lo que la determinación del consumo de agua en esta operación es de suma importancia para conocer su potencial ahorro.

Para llevar a cabo la cuantificación de los consumos de agua mensuales de las etapas mencionadas anteriormente, en primer lugar se estimó el tiempo de operación

mensual de cada lavadora en función de la velocidad de lavado de las mismas y la producción de su respectiva línea de envasado. En la cuantificación de los caudales de operación, se utilizaron tanto las mediciones registradas por los contadores volumétricos de agua instalados en la tubería de suministro de agua suave de cada lavadora, como aforos volumétricos y químicos de los tanques.

Determinación del Tiempo de Operación Mensual: El tiempo de operación mensual de las lavadoras viene dado en función de la velocidad de lavado y de la cantidad de botellas lavadas al mes. Se parte del mínimo de cajas producidas mensualmente por cada línea de envasado, que se contabilizan mediante el programa de control de producción de la cervecera y del rechazo del 3% de las botellas lavadas. De esta manera el tiempo de operación viene dado por la siguiente expresión:

$$Tiempo\ op = \frac{bot.env / 0,97}{vel\ lav} \quad (Ec.16)$$

donde:

Tiempo op: tiempo de operación (h/mes)

bot.env: botellas envasadas mensual (botellas/mes)

vel lav: velocidad de la lavadora (botellas/min).

Caudal y Consumo Mensual de Agua Recuperada en el Tanque N° 7: Las lavadoras de botellas carecen de contadores mediante los cuales determinar el consumo de agua recuperada durante su operación, y la disposición física de la entrada y salida del agua en el tanque N° 7 no permite realizar un aforo volumétrico del mismo. Por esta razón, la estimación del caudal de operación del tanque N° 7, que equivale al que rebosa y va al desagüe, como muestra la figura 13, se realizó mediante un aforo químico o de dilución.

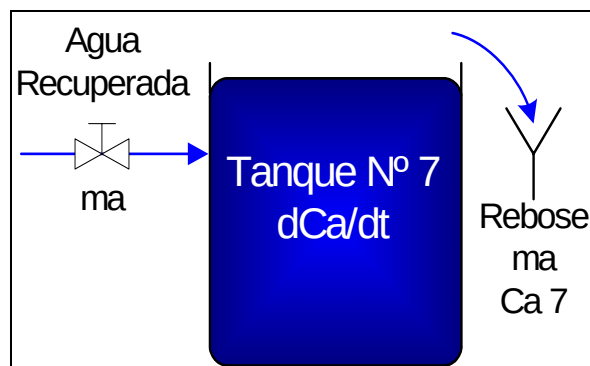


Figura 13. Caso en Estudio Tanque N° 7 [Elaboración Propia]

Una vez determinados los caudales para cada lavadora y conociendo sus respectivos tiempos de operación mensual, los consumo mensuales de agua recuperada se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Consumo Mensual Agua Recuperada Tanque N° 7

N° Lavadora	Tiempo Operación (h/mes)	Caudal Operación Actual (m ³ /h)	Consumo Mensual (m ³ /mes)
2	245	20	4.900
3	222	23	5.106
4	138	17	2.346
5	224	12	2.688
Total			15.040

Determinación de los Caudales de Operación de Agua Suave: Para la determinación de los caudales de operación de agua suave de los tanques N° 8 y 10, se procedió a realizar aforos volumétricos con ayuda de las lecturas de los contadores instalados en las tuberías de suministro. La experiencia consistió en la puesta en marcha la lavadora de botella y la medición del tiempo de llenado tanque N° 8, que conociendo su volumen, se determinó el flujo de agua que ingresa en éste. Por otra parte, teniendo la lectura del consumo total de agua suave de la lavadora en este tiempo generado por el contador, su diferencia con la cantidad de agua ingresada en el tanque N° 8, permite determinar el flujo de operación en el tanque N° 10.

Cabe destacar que éstos no se pueden considerar como los caudales de operación estándar para la determinación del consumo mensual de agua suave de las lavadoras, debido a las fluctuaciones de presión que experimenta la línea principal de agua suave y por la fallas que presenta el sistema de control on-off, lo cual implica un consumo en exceso. Los resultados se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Determinación de los Caudales Puntuales de Agua Suave

Nº Lavadora	Vol. Tanque Nº 8 (m ³)	Tiempo Llenado (min)	Consumo Total (m ³)	Caudal Tanque Nº 8 (m ³ /h)	Caudal Tanque Nº 10 (m ³ /h)
2	12,5	38	17,5	20,0	8,0
3	12,5	33	19,5	23,1	12,9
4	5,3	18	9,7	17,3	14,7
5	5,3	26	9,4	12,3	9,7

Para la determinación de los caudales de agua suave en operación de los tanques Nº 8 y 10, se partió de los caudales puntuales, registros de los consumos mensuales de cada lavadora, el estimado del consumo de agua para limpieza y sus tiempos de operación mensual. Los resultados se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Determinación de los Caudales Actuales de Agua Suave en Operación

Nº Lavadora	Tiempo (h/mes)	Consumo Agua (m ³ /mes)	Limpieza (m ³ /mes)	Caudal Tanque Nº 8 (m ³ /h)	Caudal Tanque Nº 10 (m ³ /h)
2	245	10318	891	27	11
3	222	8369	316	24	14
4	138	7797	179	30	26
5	224	6560	186	16	13

Causas de los Problemas Recurrentes

A partir de los registros diarios del consumo de agua por cada lavadora y de la cantidad de botellas lavadas por éstas, la figura 14 muestra el volumen de agua suave utilizado para el lavado de cada botella durante los días de operación de abril y mayo, lo que permite analizar el comportamiento del consumo de agua suave de las lavadoras durante su operación.

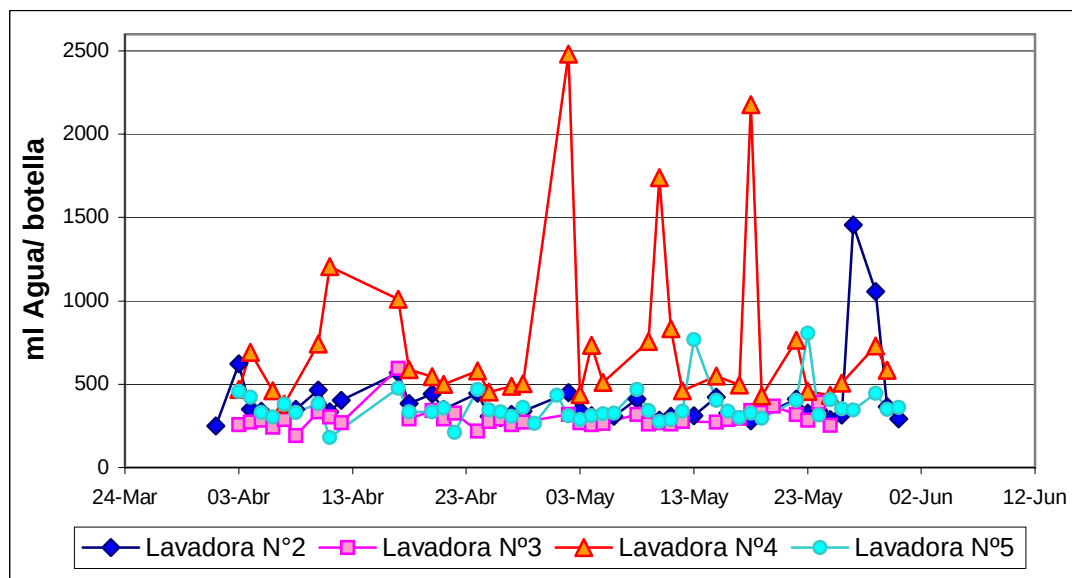


Figura 14. Volumen de Agua Suave Consumidos por Botellas en las Lavadoras (abril-junio 2006) [Elaboración Propia]

Se aprecia que el comportamiento actual del volumen de agua requerida para el lavado de cada botella es muy fluctuante para todas las lavadoras, en especial el caso de la lavadora N° 4.

A partir de la observación en campo del funcionamiento de las lavadoras y elementos que regulan el consumo de agua, se encontró una serie de factores que explican el comportamiento observado en la figura anterior:

- Falta de regulación de los caudales de operación de agua suave del tanque N° 7, 8 y última zona de enjuague de las botellas.
- Utilización de llaves de paso para regular caudales de operación, donde el grado de apertura es determinada según criterio del operador de turno.
- Presencia de fluctuaciones de la presión de la línea de agua suave, lo que implica variaciones de los caudales de operación.
- Presencia de fallas en el sistema de control on-off del suministro de agua suave, por la interrupción del aire de control que regula el funcionamiento de la válvula neumática se cierre.

Sistema de Pasteurización

Características, Variables de Operación y Sistema de Control

Los pasteurizadores en estudio transportan las botellas de cerveza a través de un ambiente de temperatura controlada, integrado por zonas de pre-calentamiento, calentamiento, mantenimiento y pre-enfriamiento como se muestra en la figura 15. La transferencia de calor se alcanza rociando agua que se esparce sobre las botellas, utilizando tubos rociadores que se encuentran a todo lo largo y ancho del pasteurizador.

Los pasteurizadores cuentan con tres sistemas regenerativos, que consisten en un par de zonas, una de pre-calentamiento y una de pre-enfriamiento, que intercambian agua entre sí de la siguiente manera: El agua caliente del tanque de una zona de pre-enfriamiento es rociada sobre las botellas relativamente frías que entran a la correspondiente zona de pre-calentamiento, calentando el producto. El agua enfriada por las botellas relativamente frías cae al tanque de la zona de pre-calentamiento y es luego bombeada a la zona de pre-enfriamiento. Luego es rociada sobre las botellas calientes que están saliendo de la zona de mantenimiento, enfriando el producto caliente. El agua calentada, cae dentro del reservorio de pre-enfriamiento y es bombeada a la zona de pre-calentamiento. De esta manera se pretende lograr un balance térmico natural lo cual permite el ahorro de agua, vapor y energía.

En las zonas de calentamiento y mantenimiento, los cabezales de los rociadores de estas zonas toman el agua directamente de sus reservorios, mediante las bombas y tuberías que se muestran en la figura 15.

El área de envasado posee un total de siete túneles de pasteurización, cinco destinados para la pasteurización de cerveza en botellas y dos para cerveza en lata. Tres de los pasteurizadores de botellas son modelos nuevos, con tecnología de control de temperatura, niveles de los tanques de agua y unidades de pasteurización moderna.

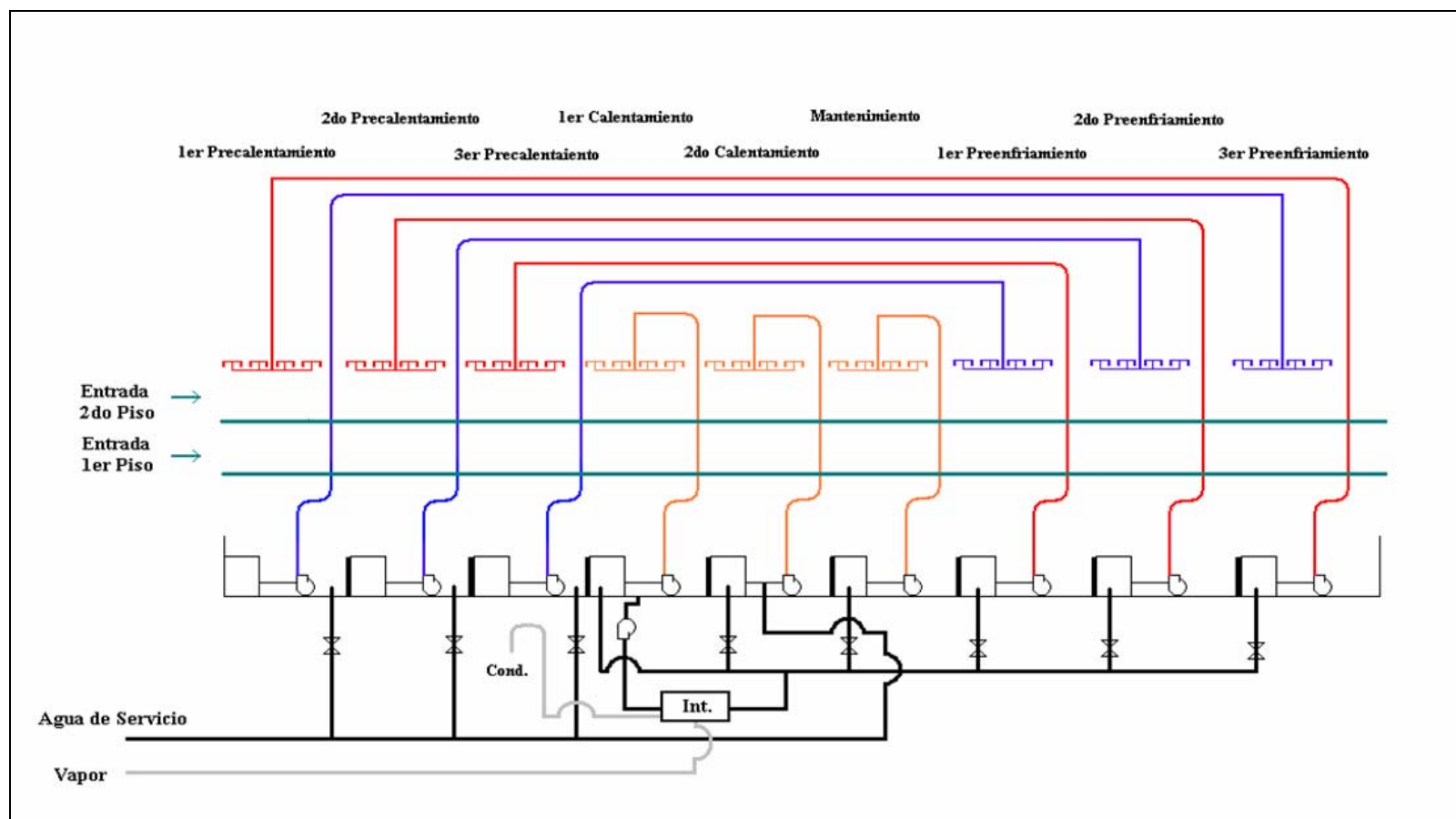


Figura 15. Diagrama de Flujo de los Pasteurizadores de Botellas [Documento de la Empresa]

Control de Temperatura de los Tanques de Agua: En los pasteurizadores nuevos, la temperatura se controla a través de inyección de agua caliente proveniente del intercambiador de calor del pasteurizador en los tanques de las zonas de calentamiento, mantenimiento y pre-enfriamiento, y la inyección de agua fresca en los tanques de la zona de pre-calentamiento.

En los pasteurizadores antiguos la temperatura se controla con inyección directa de vapor en los tanques de pre-enfriamiento, de agua caliente en los tanques de calentamiento y mantenimiento, y la inyección de agua fresca en los tanques de pre-calentamiento.

Control de Nivel de los Tanques y de Recuperación de Agua: Los niveles de los tanques de agua de los pasteurizadores nuevos son controlados por un sistema flotador externo localizado en las siguientes zonas; 2do Pre-Calentamiento, 3er Pre-Calentamiento, 2do Pre- Enfriamiento, y 3er Pre- Enfriamiento. Con respecto al sistema de recuperación de agua, las zonas de pre-calentamiento tienen un tanque de rebose en el 3er pre-calentamiento. Las zonas de calentamiento, mantenimiento, y pre-enfriamiento tienen un tanque de rebose en la zona de mantenimiento.

El agua de rebose es conducida a un tanque de recolección, donde es bombeada hasta el tanque del sistema de agua recuperada ubicada en la PTAB de la cervecería, donde es tratada para ser reutilizada.

Etapas de Operación de los Túneles de Pasteurización: Las etapas de operación de los pasteurizadores, mostrados en la figura 16, son los siguientes:

Precalentamiento: comprende el tiempo desde el encendido del equipo hasta que alcanza condiciones óptimas de temperatura de operación en cada uno de los tanques de agua.

Paso del Viajero: corresponde a su tiempo de paso a través del túnel de pasteurización, de aproximadamente 60 min. El viajero, es un instrumento utilizado para verificar el cumplimiento de las unidades de pasteurización requeridas.

Mantenimiento de Temperatura: comprende al tiempo que se deja encendido el pasteurizador, desde que alcanza condiciones óptimas de operación hasta que comienza el proceso de pasteurización de la cerveza envasada.

Pasteurización: comprende el tiempo de paso de las cervezas envasadas para ser pasteurizadas.

Apagado: etapa en la cual no debe haber consumo de agua, sólo el correspondiente por limpieza al finalizar la jornada.

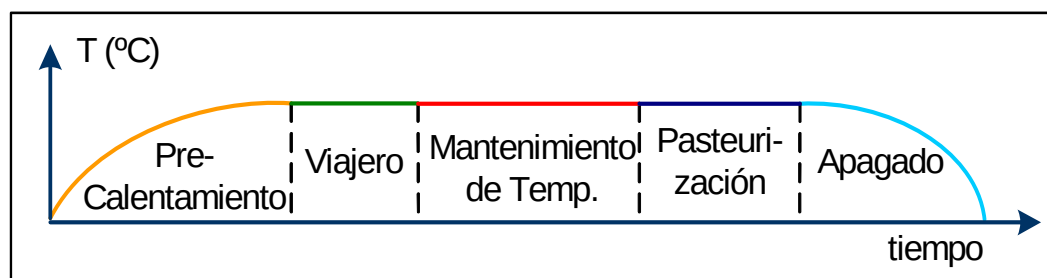


Figura 16. Etapas de Operación de los Túneles de Pasteurización [Elaboración Propia]

Cuantificación del Consumo de Agua

A continuación se expone el procedimiento utilizado para determinar el consumo de agua recuperada y de vapor por los pasteurizadores, además del agua desmineralizada requerida para su generación, durante las etapas de operación de Mantenimiento de Temperatura y Pasteurización, por ser estas los mayores consumidores de agua.

Por otra lado, teniendo en cuenta el sistema de recuperación de agua que poseen los pasteurizadores, se explicará la metodología utilizada para cuantificar las pérdidas de agua que presentan los equipos durante la operación y los porcentajes de recuperación de cada uno, los cuales serán datos fundamentales para determinar los potenciales ahorro de agua.

Consumo de Agua Recuperada: La contabilización del consumo de agua recuperada en los pasteurizadores, la cual es utilizada tanto para el proceso de

pasteurización como para el lavado del mismo, se llevó acabo a partir de los registros diarios de los contadores de agua ubicados en la tuberías de suministro para cada pasteurizador.

Caudal de las Etapas de Mantenimiento de Temperatura y Pasteurización: El caudal de agua recuperada en operación de las etapa de Mantenimiento de Temperatura y Pasteurización, se determinó mediante lectura de los contadores de agua recuperada de los pasteurizador, al inicio y final de estas etapas de operación.

Los tiempos fueron determinados por los registros de las gráficas generadas por el PLC (Programmable Logic Controller) de los sistemas de control de temperatura de los tanques de agua y por los registros del programa de control de producción de la cervecería.

El caudal de agua de dichas etapas de operación se calculó por la siguiente expresión y los resultados se muestran en la tabla 10:

$$Q_e = \frac{C_e}{t} \quad (\text{Ec.17})$$

donde:

Q_e : caudal por etapa de operación (m^3/h)

C_e : consumo de agua de servicio por etapa de operación (m^3)

t : tiempo de duración de la etapa (h).

Tabla 10. Caudal de Agua en las Etapas de Mantenimiento de Temperatura y Pasteurización

Pasteurizador	2	4	5	6	7	8
Mantenimiento de Temperatura (m^3/h)	16,3	17,5	12,2	24,3	22,6	22,3
Pasteurización (m^3/h)	11,0	18,3	9,3	16,7	18,6	13,2

Para el estudio no se tomó en cuenta el consumo del pasteurizador N° 3 debido a que no poseía contador de agua, además de la imposibilidad de cuantificar su consumo por otro método.

Consumo de Vapor y de Agua Desmineralizada: Para cuantificar el consumo de vapor en los pasteurizadores, se procedió a realizar un balance de masa y energía en la trampa de vapor del sistema de recuperación de condensado, mostrado en la figura 17, para determinar el caudal de condensado generado durante la operación del pasteurizador, que se asume como igual a la cantidad de vapor consumido en las etapas de operación de interés.

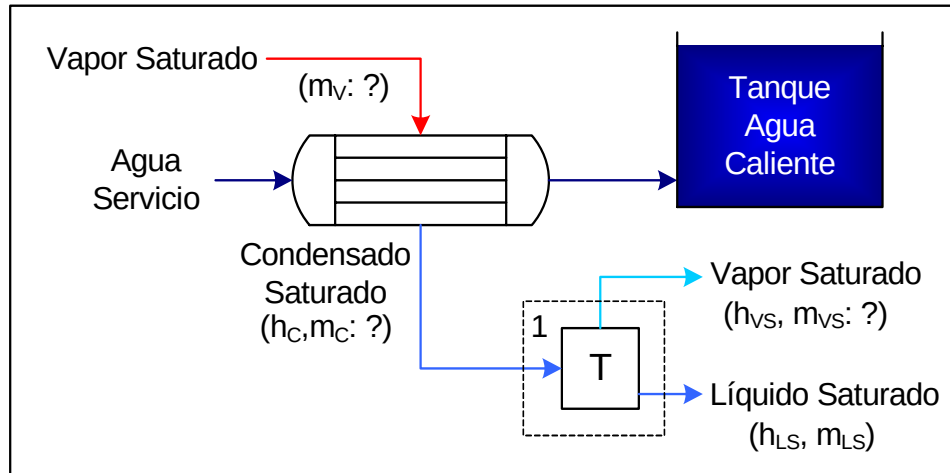


Figura 17. Balance de Masa y Energía Condensado Pasteurizador [Elaboración Propia]

Este procedimiento solo fue posible aplicarlo a los pasteurizadores nuevos debido a que la totalidad del vapor de agua, es utilizado para calentar el agua de servicio en los intercambiadores de calor, pasando a ser el condensado recuperado, mientras en los pasteurizadores viejos parte del vapor es inyectado directamente a los tanques de agua caliente, donde la proporción de distribución del consumo de vapor se desconoce. De esta manera el dato de la cantidad de vapor utilizada por los pasteurizadores viejos, se tomó de la información suministrada por la empresa.

La determinación del caudal de condensado generado, se realizó experimentalmente mediante un aforo volumétrico del líquido saturado que sale de la trampa de vapor.

Para cuantificar la cantidad de agua desmineralizada requerida para la generación del vapor consumido en cada etapa de operación, se consideró una eficiencia del 85% en las calderas, dato que fue suministrado por la empresa.

La tabla 11 muestra los consumos de vapor y agua desmineralizada para cada uno de los pasteurizadores durante su operación

Tabla 11. Consumo de Vapor y Agua Desmineralizada de los Pasteurizadores

Pasteurizador	2	4	5	6	7	8
Vapor (Kg/h)	2.086	2.261	2.532	2.532	2.613	2.308
Agua Desmineralizada (m ³ /h)	2,5	2,7	3,0	3,0	3,1	2,7

Pérdidas de Agua en los Pasteurizadores en Operación y Porcentaje de Recuperación: Las pérdidas de agua en los túneles de pasteurización se deben a las limitaciones del sistema de recuperación de agua, para recolectar el volumen de agua generada por el rebose de los tanques del pasteurizador, además de las pérdidas generadas por evaporación y salpicaduras durante su operación.

Para determinar el caudal de pérdida de agua para cada pasteurizador, se hizo un balance global de masa en los pasteurizadores, mostrado en la figura 18.

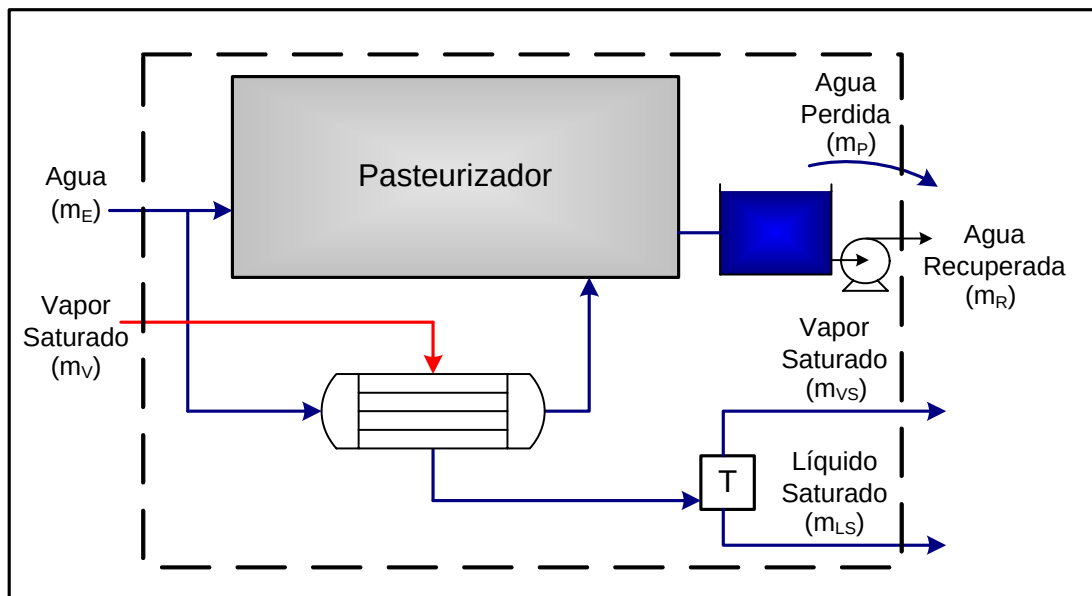


Figura 18. Balance de Masa en los Pasteurizadores [Elaboración Propia]

A partir de los resultados obtenidos, se cuantificó el porcentaje de recuperación de agua de los pasteurizadores, que se calcula de la siguiente manera:

$$\% Recp = \frac{m_R}{m_E} * 100 \quad (\text{Ec.18})$$

donde:

%Rec: porcentaje de recuperación de agua (%)

La tabla 12 muestra el caudal de pérdida de agua para cada pasteurizador y en consecuencia su porcentaje de recuperación.

Tabla 12. Pérdidas de Agua en los Pasteurizadores en Operación y Porcentaje de Recuperación

Pasteurizador	2	4	5	6	7	8
Caudal Agua Pérdida (m³/h)	5,6	8,8	2,4	8,0	7,3	7,4
% Recuperación	49	52	74	52	61	44

Causas de los Problemas Recurrentes

Tiempo de Calentamiento en Exceso: A través de la inspección en campo se pudo observar que en la puesta en marcha de las líneas de envasado, la etapa de operación de Mantenimiento de Temperatura, explicada anteriormente, tiene una duración considerable.

Esto es debido a que durante la puesta en marcha de la línea de envasado, el pasteurizador es encendido al comienzo de la jornada. Éste alcanza las condiciones de temperatura requerida mucho antes de que los demás equipos de línea estén a punto, por lo que la etapa de Mantenimiento de Temperatura se extiende hasta el comienzo del proceso de envasado.

Durante esta etapa, existen condiciones de desbalance térmico en las zonas regenerativas, que el control de temperatura compensa, lo que implica un desperdicio en el consumo de agua recuperada y vapor, aumentando el rebose de los tanques de

agua de los pasteurizadores, y con ello el volumen de agua que debe ser tratada en la PTAB para su reacondicionamiento.

Consumo de Agua de Servicio sin Operación: Al revisar los registros diarios del consumo de agua recuperada, se observó que en los pasteurizadores N° 2, 4 y 8, periódicamente se produjo un consumo notable de agua a pesar que no estuvieron operando, discriminando aquellos consumos referentes a la limpieza de los mismos.

Esto se explica porque los operadores no cierran las llaves de paso de la tubería principal de agua recuperada al finalizar su operación y a las fallas detectadas en los flotadores de los sistemas de control de nivel de los tanques, lo que se traduce en un consumo de agua con el pasteurizador fuera de servicio.

Consumo de Agua en la Etapa de Pasteurización: Luego de observar el comportamiento de los pasteurizadores durante un período de dos semanas, desde el 02 hasta el 15 de octubre del 2006, y extrapolarlo a un mes, fue posible construir la tabla 13 donde se muestra los índices de consumo de agua recuperada durante la etapa de Pasteurización, con respecto a la cantidad de cerveza procesada.

Tabla 13. Índice de Consumos de Agua en la Etapa de Pasteurización

Pasteurizador	2	4	5	6	7	8
Índice (hl agua/hl cerveza pasteurizada)	0,85	2,25	0,90	2,25	8,20	2,16

Se observan consumos notablemente distintos para cada equipo, que dependen del modelo y tecnología del pasteurizador.

Los pasteurizadores N° 2, 4, 7 y 8, son equipos antiguos con la misma tecnología, donde a pesar que el N° 2 tiene mayor capacidad de procesamiento y tiempo de operación semanal, además de pasteurizar malta que requiere un perfil de temperatura mayor, que genera el incremento del consumo de agua recuperada y vapor, su índice de consumo de agua es notablemente menor que los demás

pasteurizadores. De esta manera se concluye que los pasteurizadores N° 4, 7 y 8, están manejando caudales no acordes al volumen de cerveza pasteurizada.

En relación con los pasteurizadores N° 5 y 6, que son equipos nuevos y del mismo modelo, se puede apreciar la notable diferencia entre los índices de consumo de agua. En parte, esta diferencia se debe a que el pasteurizador N° 6 procesa una mayor cantidad de productos, incluido malta, por lo que debe ajustarse varias veces en la semana el perfil de temperatura de acuerdo a los requerimientos del producto. Pero este aspecto no da explicación a la gran diferencia presentada por ambos, por lo que se concluye que el caudal de operación de agua del pasteurizador N° 6 es elevado con respecto al volumen de cerveza pasteurizada.

Las causas encontradas de estos elevados caudales de agua son los siguientes:

- a) Desbalance hidráulico entre las zonas regenerativas del pasteurizador. Este se presenta cuando los pares de bombas no manejan caudales iguales, trayendo como consecuencia que uno de los tanques esté bajo de nivel y por lo tanto el sistema de control necesitará compensarlo introduciendo agua, mientras que en el otros se estará rebosando hacia el tanque del sistema de recuperación, el cual no siempre se da abasto.
- b) Fallas en las válvulas reguladoras del sistema de control de temperatura.
- c) Fallas del sistema mecánico de control de nivel de los tanques de agua.

Sistema Agua Helada - Enfriamiento de Mosto - Cocimiento

Características, Variables de Operación y Sistema de Control

Sistema de Agua Helada: Tiene como objetivo enfriar el agua cervecera proveniente de la PTAB desde una temperatura de 27-28 °C, hasta una temperatura de 3 °C, para su posterior uso principalmente para el enfriamiento del mosto proveniente del Rotapool, y en menor cantidad para el laboratorio central de la cervecería, el pasteurizador de cerveza recuperada y la preparación del colorante de la malta.

El sistema está conformado por tres intercambiadores de calor de carcasa y tubos como se muestra en la figura 19, donde el mayor posee una capacidad de operación de 30 m³/h y los otros dos de 25 m³/h. Estos operan en paralelo, de acuerdo a la demanda de agua de agua helada, la cual es almacenada en un sistema de cuatro tanques buffer con una capacidad de 85 m³ cada uno.

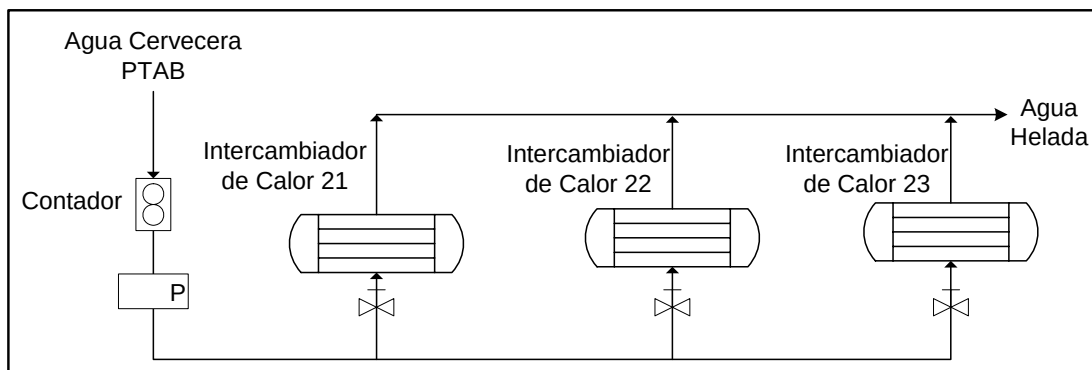


Figura 19. Sistema de Producción de Agua Helada [Elaboración Propia]

Como refrigerante se utiliza amoníaco a una presión de 160-165 psig y temperatura de -8 °C, que al expandirse dentro del intercambiador alcanza una presión de 44 psig. para retirar el calor al agua cervecera.

Los enfriadores poseen un sistema de control de nivel de amoníaco, que permite regular su inyección a través de una válvula solenoide, un sistema de control de temperatura de salida del agua por medio de la inyección de amoníaco caliente en caso de temperaturas bajas y de amoníaco frío en caso de altas temperaturas, y un sistema de control de presión mediante una válvula reguladora graduada en 42-44 psig, para el retorno del gas de amoníaco hacia el sistema de recuperación.

Sistema de Enfriamiento de Mosto: En este proceso se enfría el mosto desde una temperatura de 85-87 °C hasta de 10 °C, que es la temperatura óptima para la siembra la levadura y el proceso de fermentación de la cerveza.

El sistema, mostrado en la figura 20, está constituido por dos intercambiadores de placas que trabajan en paralelo con una capacidad de enfriamiento de 46 m³/h de mosto, utilizando agua helada como refrigerante.

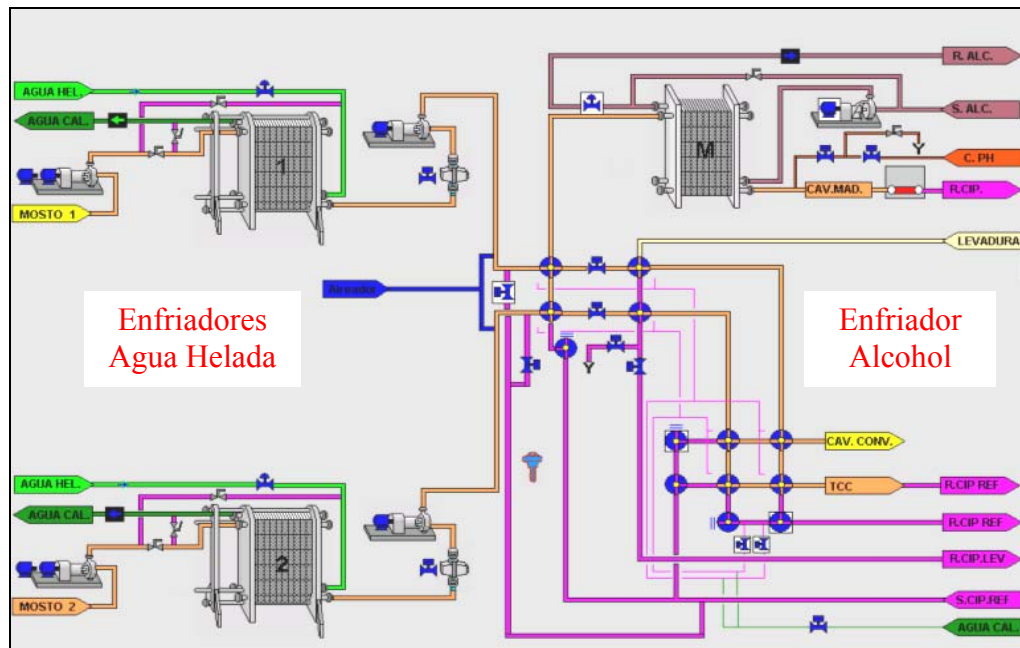


Figura 20. Sistema de Enfriamiento de Mosto y Malta [Hoja Técnica de la Empresa]

El mosto de malta, al cual previamente se agrega azúcar y caramelo, se enfría en los intercambiadores de placas de agua helada, y posteriormente se pasa a un enfriador de placas adicional que utiliza como refrigerante alcohol, con lo cual se lleva el producto hasta temperaturas menores a los 0°C, para el proceso de maduración.

Sistema de Agua Caliente: El sistema de agua caliente, que se muestra en la figura 21, está constituido por una serie de tanques que permiten almacenar y distribuir el agua cervecera caliente para la maceración, riego de filtros, entre otros consumidores.

El agua cervecera caliente proviene en su mayoría del proceso de enfriamiento de mosto, el cual se encuentra a una temperatura aproximada de 80 °C, es almacenada en los tanques N° 11 y 12 de recepción de agua caliente, los cuales tienen una

capacidad de almacenamiento de 150 m³ y cuenta con un sistema de control de nivel, que al alcanzar el nivel bajo de 20 % repone agua cervecera fresca proveniente de la PTAB hasta alcanzar un nivel de 40%. El agua contenida en los tanques se mantiene circulando a través de unos intercambiadores de calor para mantenerla a la temperatura de 80 °C.

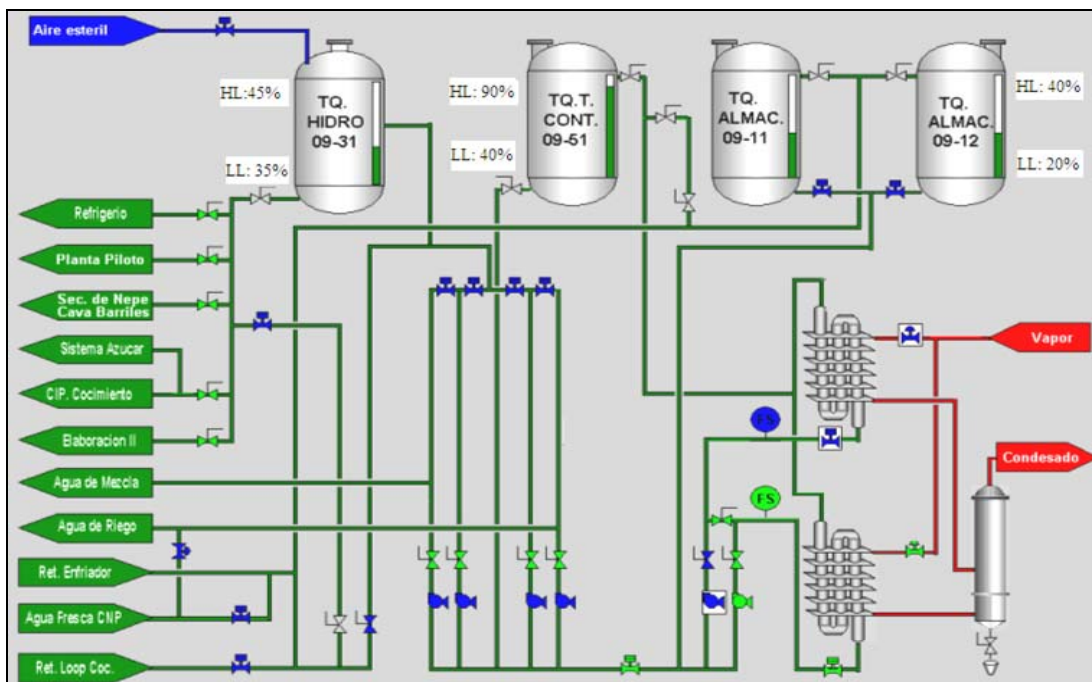


Figura 21. Sistema de Agua Caliente [Hoja Técnica de la Empresa]

Posteriormente el agua se bombea hacia el tanque N° 51 con capacidad de 90 m³, el cual mantiene su nivel entre un 40-90%. Este se surte agua para la preparación de la mezcla de maceración y el riego de los filtros de mosto, donde esta última se mezcla con agua cervecera fresca proveniente de la PTAB para controlar la temperatura requerida para dicha operación.

Por otra parte el tanque N° 51 surte de agua al tanque N° 31 con capacidad de 90 m³, para mantener su nivel entre 35 y 45%. Este hace la función de tanque hidroneumático y suministra agua caliente para la planta piloto, la preparación de colorante, ejecución de los CIP de Elaboración I y II y sistema de azúcar para malta.

Cuantificación del Consumo de Agua

La contabilización del consumo de agua cervecera proveniente de la PTAB, se realizó a partir de los registros diarios de los contadores de agua ubicados en la tubería de alimentación a los intercambiadores de calor de amoníaco.

Los caudales de agua helada en los dos intercambiadores de placas para cerveza y los dos para malta, se determinaron mediante un balance de energía. La información requerida para el balance de energía fue la siguiente:

- a) Temperatura, presión y flujo, de entrada y salida del mosto.
- b) Temperatura y presión, de entrada y salida del agua.

Los datos utilizados abarcan tres condiciones de operación que presentaron muy poca variación entre ellos. La tabla 14 muestra los resultados para cada intercambiador de placas:

Tabla 14 . Caudales de Agua Helada para los Intercambiadores de Placas

Intercambiador	Cerveza 1	Cerveza 2	Malta 1	Malta 2
Caudal Actual (m³/h)	50	49	67	66

Causas de los Problemas Recurrentes

El notable incremento del consumo de agua helada durante el proceso de enfriamiento de mosto, se debe a un conjunto de problemas operacionales concatenados que generan un desbalance térmico en el sistema de agua helada - enfriamiento de mosto - cocimiento, y en consecuencia se produce el rebose de los tanques de almacenamiento de agua caliente proveniente del enfriamiento de mosto. Los problemas operacionales presentados son:

- a) Temperatura de salida del agua helada mayor a la especificada en las condiciones de diseño.
- b) Altos consumos de agua helada durante enfriamiento de mosto.

En la figura 22 se señala su localización y en la tabla 15 se identifica las causas que los originan.

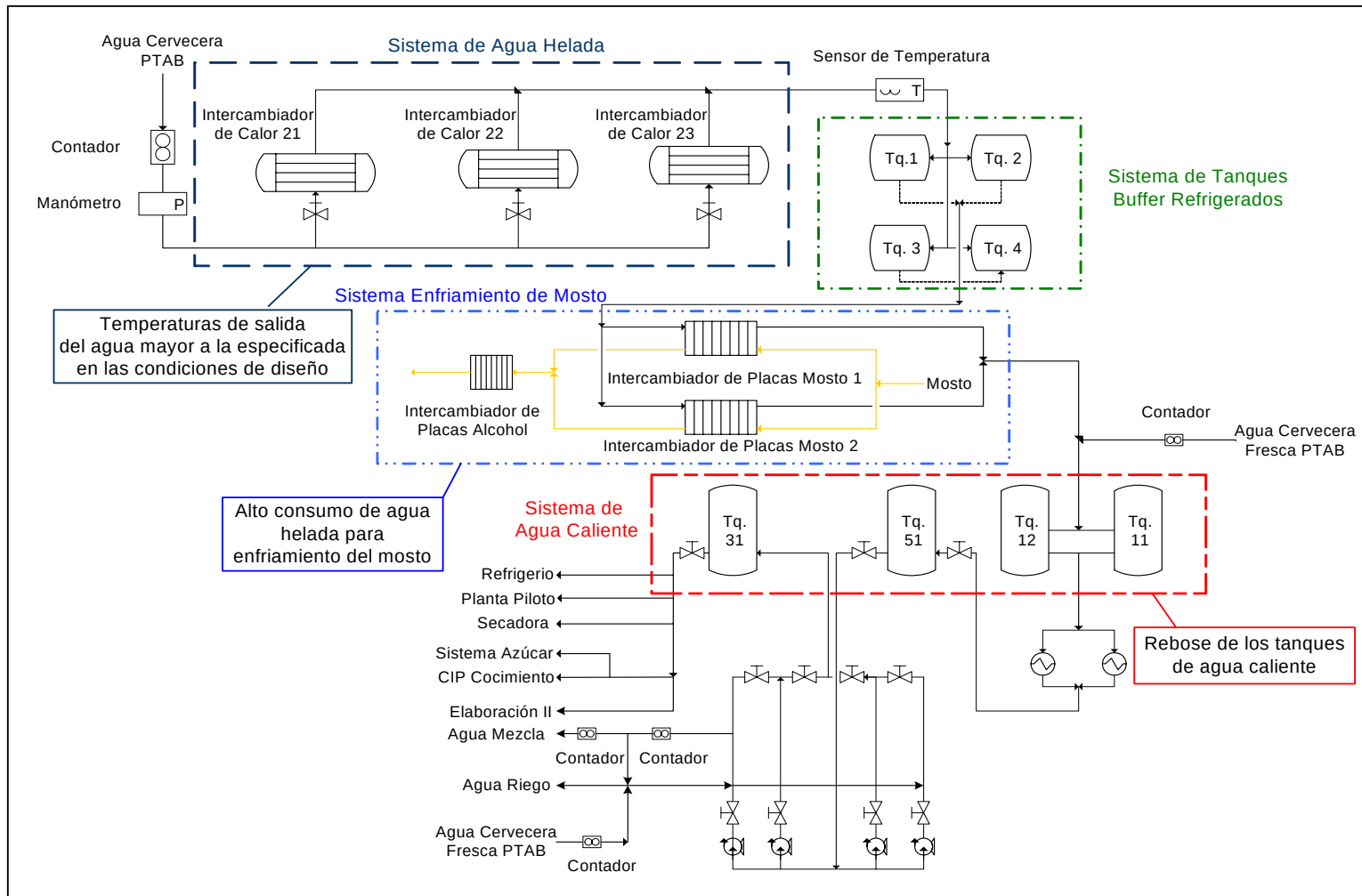


Figura 22. Desbalance Térmico en el Sistema de Agua Helada-Enfriamiento de Mosto- Cocimiento [Elaboración Propia]

**Tabla 15. Causas del Desbalance Térmico del Sistema de Agua Helada -
Enfriamiento de Mosto - Cocimiento**

Problemas Recurrentes	Causas
Temperatura de salida del agua (Agua Helada) mayor a la de diseño ($T > 3\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Caudales de agua de los intercambiadores (mayores a $30\text{ m}^3/\text{h}$) superan la capacidad de diseño del equipo
	Regulación de caudales con llaves de paso, cuya abertura es a discreción del operador, lo cual no es una práctica adecuada de control.
	Fluctuación de la presión de la línea de agua que se traduce en flujos irregulares, implicando mayor dificultad para el control de la temperatura de salida del agua
	Pérdida de eficiencia del intercambiador debido a: - Alta caída de presión en los intercambiadores (50 psig), lo que denota la presencia de incrustaciones. - Irregularidad en la purga periódica del aceite que se deposita en el fondo del intercambiador, solo cuando se observa aumento de la temperatura de salida del agua.
Altos consumos de agua helada en el enfriamiento de mosto	Caudales de mosto (500 hl/h) mayores a la capacidad de diseño del equipo (463 hl/h)
	Temperatura del alcohol ($-2\text{ }^{\circ}\text{C}$) mayor a la especificada en el diseño ($-4\text{ }^{\circ}\text{C}$), lo que obliga a retirar mayor cantidad de calor al intercambiador de placas previo, implicando un mayor consumo de agua helada
Desborde de los tanques de agua caliente	"Set point" de los tanques del sistema de agua caliente que impiden mayor capacidad de recepción de agua caliente

Sistema de Lavado de Equipos de los Procesos de Fermentación, Maduración y Filtración

Características, Variables de Operación y Sistema de Control

El consumo de agua filtrada en los sistemas de fermentación, maduración y filtración es primordialmente destinada a la limpieza CIP (clean in place) de tanques y tuberías, además del agua utilizada para la preparación de los filtros de cerveza y de las soluciones de detergentes y desinfectantes.

Sistemas de Limpieza CIP: Los sistemas CIP son estaciones automatizadas que se emplean para el lavado de circuitos cerrados, tales como redes de tuberías y tanques de almacenamiento. En la figura 23 se muestra la configuración básica de una estación CIP.

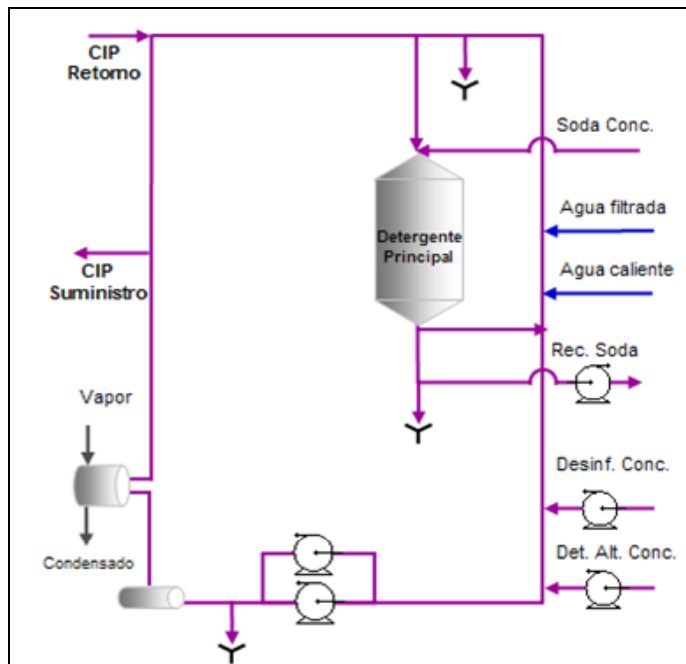


Figura 23. Estación de Limpieza CIP [Hoja Técnica de la Empresa]

Estos cuentan con tanques para el almacenamiento de las soluciones de detergentes, con una bomba de velocidad variable y un calentador con los que se regulan el caudal y la temperatura de las soluciones de limpieza y agua durante los lavados a través de sistemas de control.

Programa de Limpieza de Equipos: 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 acabo de forma automática, donde en cada uno se especifica las condiciones que se deben de cumplir durante la ejecución de dicho paso.

Las variables que determinan la ejecución de cada uno de las etapas del programa 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 duración máxima que puede esperarse para que se alcancen los "set point".
- c) *Caudal*: es el flujo que debe alcanzar la bomba de la estación, la cual es de velocidad variable.
- d) *Temperatura*: valor que debe alcanzar el fluido medido en el retorno del CIP
- e) *Conductividad*: representa la concentración de detergente que debe de poseer la solución en circulación, la cual es medida en la tubería de retorno del CIP.
- f) *Volumen*: es la cantidad máxima de agua que puede circular en dicho paso.

La tabla 16 muestra como ejemplo el programa de lavado perteneciente a los tanques de fermentación:

Tabla 16. Ejemplo de Programa de Limpieza

Paso	T. Paso (min)	T. Supervisión (min)	Caudal (m³/h)	Temp. (°C)	Cond. (mS/cm)	Volumen (hl)
Purga Lodo	0	1	0	0	0	0,0
Ajuste Concentración	0	20	40	0	10	0,0
Enjuague Prelavado	27	30	29	0	1	100
Circulación Detergente	60	70	29	0	7	0,0
Enjuague Prelavado	25	50	29	0	1	150
Avance Agua	5	10	29	0	1	12
Circulación Desinfectante	20	30	29	0	1	0,0
Enjuague Prelavado	5	10	29	0	1	20
Fin CIP	0,4	1	0	0	0	0,0

Logística de Lavado: Todos los tanques y tuberías que entran en contacto con la cerveza y malta, son lavados siguiendo un orden que depende de la secuencia de producción.

Por ejemplo cuando se hace el cambio de un producto de base Ice* (Ice, Light o Solera Verde) a otros tipos de cervezas, no se requiere hacer lavados ni enjuague. De cerveza Pilsen a otros productos sólo se necesita realizar enjuagues a los equipos y de Solera Light a otros productos se necesita realizar lavados profundos a los equipos. Los tanques de fermentación de la cerveza se lavan después de su vaciado.

La ejecución del CIP implica el lavado con utilización de soluciones de detergentes y desinfectantes, mientras los enjuagues solo implican el paso de agua.

La figura 24 muestra esquemáticamente las posibles secuencias que definen la logística de lavado de los equipos.

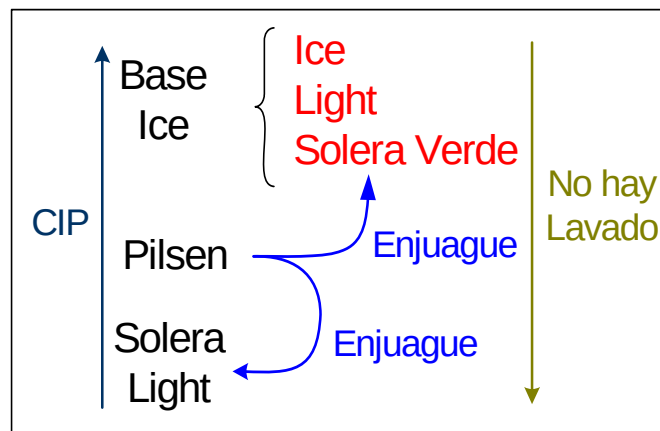


Figura 24. Logística de Lavado por Cambio de Producto [Elaboración Propia]

Cuantificación del Consumo de Agua

El levantamiento del diagrama de tuberías de suministro de agua filtrada de los sistemas en estudio que se muestra en la figura 25, requirió el seguimiento en campo de la tubería principal proveniente de la PTAB, hasta cada uno de los consumidores.

* Tipo de mosto utilizado para la elaboración de distintos productos

Esto permitió ubicar dentro del diagrama de tuberías los contadores que reportan el consumo de agua filtrada y verificar que éstos registraran el consumo de agua de las actividades propias de los sistemas en estudio.

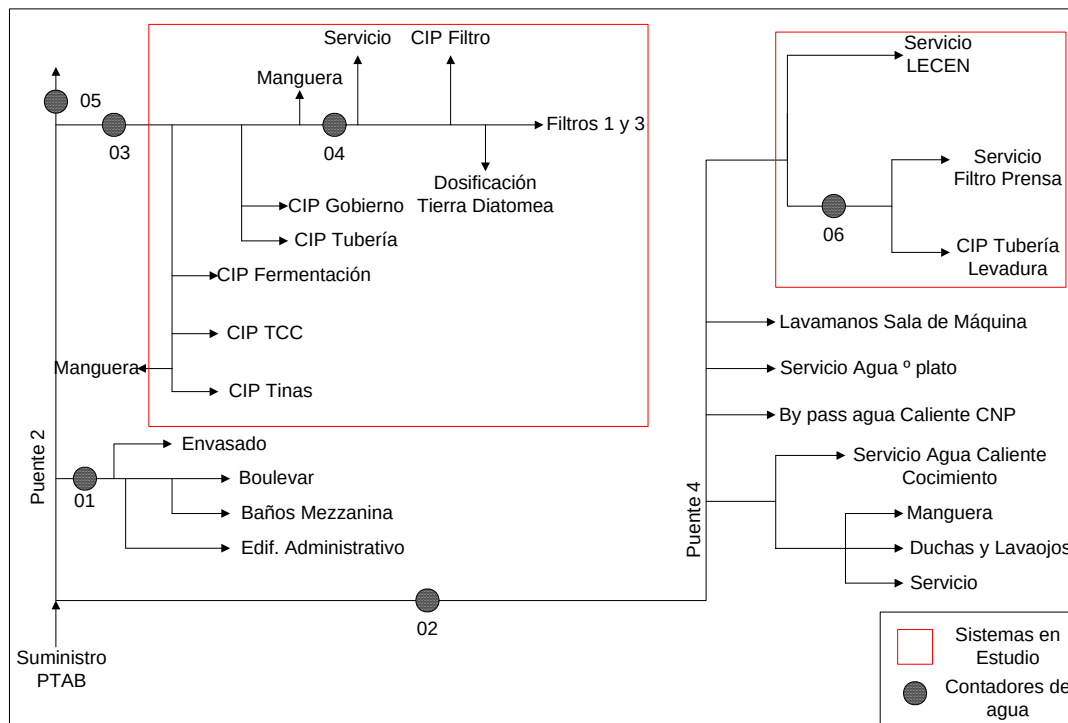


Figura 25. Diagrama de Tuberías del Suministro de Agua Filtrada [Elaboración Propia]

De esta manera el consumo registrado por el contador 6 es relacionado a las actividades y lavado del filtro prensa, el contador 4 registra el consumo del lavado y preparación de los filtros de cerveza, y el contador 3 registra el consumo de estos últimos y de las demás estaciones de limpieza CIP.

Para la determinación de las actividades que experimentaron un incremento en el consumo de agua filtrada pertenecientes a los sistemas en estudio, se tomó el registro de los contadores 03, 04, 06 desde marzo hasta agosto del 2006.

Estimación del Consumo de Agua Filtrada por Limpieza: Para el cálculo del consumo de agua filtrada por limpieza de las áreas de estudio, se revisaron las ordenes de filtración suministradas por la Gerencia de Elaboración, y conociendo la

logística de lavado se pudo determinó la cantidad de veces que se ejecuto la limpieza de los equipos.

El consumo de agua filtrada por limpieza de cada equipo, se estimó como el consumo mínimo obtenido a partir del tiempo de paso de los enjuagues y el caudal de operación especificada en sus respectivos programas de limpieza.

La tabla 17 muestra los consumos mínimos de agua para todos los equipos de las área en estudio y su frecuencia de lavado.

Tabla 17. Frecuencia y Consumo Mínimo de Agua Filtrada por Equipo

Equipo	Frecuencia de Ejecución de CIP	Consumo (m³/Lavado)
Tanque Fermentación (TCC)	Cada vaciado	38
Trasiego	Cada TCC vaciado	5
Completado	Cada completado TCC	2
Cosecha	Cada TCC	8
Tanque Levadura Dosificada	Cada Cosecha	32
Tanque Levadura Centrifugada	Cada Cosecha	24
Tubería Centrifuga	5 veces/semana	18
Tanque Cerveza Recuperada	5 veces/semana	15
Tubería Cerveza Recuperada	5 veces/semana	12
Termorizador	5 veces/semana	3
Vías Maduración	Cada vaciado	57
Tanque Clarificante	Cada vía maduración	13
Buffer I	Cambio de producto y fin de semana	31
Buffer II	Cambio de producto y fin de semana	31
Tanque NAMS	4 veces/semana	12
Filtro I	Cambio de producto y fin de semana	59
Tanque Enzimas	2 veces/semana	13
Tubería Cerveza	Cambio de producto y fin de semana	7
Tanque Gobierno	Cada vaciado Pilsen y Solera Light	33
Tanque Buffer I	Cambio de producto y fin de semana	31
Filtro II	Cambio de producto y fin de semana	59
Tanque Buffer II	Cambio de producto y fin de semana	31
Tubería Malta	Cambio de producto y fin de semana	7
Tanque Gobierno Malta	Cada vaciado	16

Estos valores permitirán en la siguiente sección cuantificar los potenciales de ahorro como consecuencia de los cambios propuestos.

Causas de los Problemas Recurrentes

A partir de los registros semanales del consumo de agua filtrada de los contadores 03, 04 y 06 que se muestra en la figura 26, se pudo determinar las actividades que presentaron un incremento en su consumo de agua.

Es claro que mientras los consumo registrados de los contadores 4 y 6 se mantienen constantes, los registros del contador 3 presentan aumentos de alrededor de 1.000 m³/semana, lo cual representa un incremento en el consumo de agua de hasta un 290 % en comparación con los valores típicos de estos consumidores.

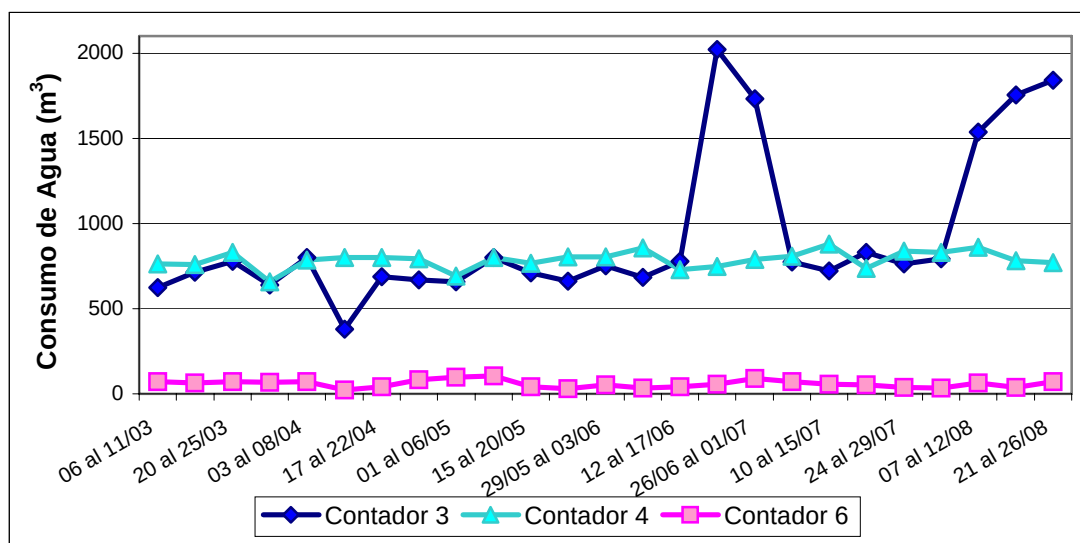


Figura 26. Registro del Consumo Agua Filtrada de los Sistemas de Fermentación, Maduración y Filtración [Elaboración Propia]

Se determinó que mientras los consumos de agua por las actividades y limpieza de los filtros de cerveza y prensa se mantienen constantes (contadores 4 y 6), los CIP de Gobierno, Fermentación, Tuberías, TCC y Tinajas (diferencia entre contadores 3 y 4) reflejan la presencia de problemas en la ejecución de los programas de limpieza de los equipos limpiados por estos, aparte de las modificaciones realizadas para mejorar la limpieza, lo cual se tradujo en un mayor consumo de agua.

Entre las modificaciones realizadas para mejorar el lavado de los equipos están el aumento de la frecuencia de preparación de las soluciones de detergentes y el aumento de los tiempos de paso de los enjuagues de limpieza de agua.

Anteriormente la soluciones utilizadas en los CIP eran restituidas cuando los análisis diarios de concentración de carbonato realizados por el personal del Laboratorio Central de la cervecería, así lo indicaban. En la actualidad, a parte del control diario de la concentración de carbonatos de las soluciones, éstas son restituidas cada 15 días, lo que implica un aumento del consumo mensual de agua filtrada de alrededor de 120 m³.

Por otra parte, con la intención de mejorar el lavado de aquellos equipos donde las pruebas microbiológicas indicaban que la limpieza no era la adecuada, se procedió a aumentar el tiempo del paso de los enjuagues con agua filtrada, lo que trajo como consecuencia un aumento el consumo de agua de 274 m³/mes.

Los problemas observados en los sistemas en estudio que trajeron como consecuencia el aumento del consumo de agua son el orden de programación de filtración de productos, el lavado de las vías de maduración y la duración de los tiempos de enjuague en los lavados de equipos.

Orden de Programación de Filtración de Productos: El orden de programación semanal de filtración de productos, es planificado de acuerdo a los requerimientos de la Gerencia de Envasado, donde a medida que mayor sean los cambios entre los diferentes tipos de productos a filtrar, mayor será el número de limpiezas de los equipos y con ello el consumo de agua filtrada. La tabla 18 muestra un ejemplo de una programación semanal para el filtrado de productos.

Tabla 18. Ejemplo Programa de Filtración de Productos

Día	Producto
Sábado	SOLERA
	MALTA
Domingo	PILSEN
Lunes	ICE
Martes	SOLERA LIGHT
Miércoles	MALTA
Jueves	ICE
Viernes	ICE

Siguiendo la secuencia de lavado de equipos esquematizada en la figura 23, del programa de filtración anterior se desprende que fue necesario realizar como mínimo dos limpiezas CIP y enjuague para línea de filtrado de cerveza y una limpieza CIP para la de malta, tomando en cuenta la limpieza CIP aplicada el fin de semana.

Con base en los consumos mínimos de agua filtrada para el lavado de los equipos, la tabla 19 muestra los gastos de agua estimados para diversas semanas de producción, solo para aquellos equipos que requieren ser lavado en función de los cambios de productos que genera la programación de filtración.

Tabla 19. Consumo de Agua Filtrada en Función de Cambios de Productos

Semana	Cerveza		Malta	Agua Consumida (m ³)
	CIP	Enjuague	CIP	
28	1	1	1	407
29	2	1	1	523
30	1	1	1	278
31	3	1	1	643
32	1	1	1	386
33	1	1	1	386
34	1	1	1	407

La tabla anterior muestra que la diferencia entre el consumo de agua entre semanas puede ser hasta de 365 m³ agua filtrada, solamente en función del orden en que son filtrados los productos.

Lavados de las Vías de Maduración: El proceso de maduración de la cervecería en estudio se lleva a cabo en una serie de tanques que son denominados vías de maduración.

Para mejorar el lavado de éstos, se dosifica una solución clarificante con la finalidad de coagular las levaduras presentes en la cerveza y éstas sedimenten en el fondo del tanque durante la maduración, lo que facilita el lavado de los equipos.

De esta manera también se ve beneficiado el proceso de filtración de la cerveza madurada, donde al ser mínima la cantidad de levadura presente, contribuye al rendimiento que puede ofrecer el filtro de cerveza.

A través de entrevistas al personal de operación del sistema de filtración, se pudo conocer que a finales del mes de junio y comienzo del mes de julio, en coincidencia con el incremento del consumo de agua filtrada, aumentó la presencia de levadura en la cerveza proveniente en las vías de maduración, debido a un problema de homogenización de la solución clarificante.

Este hecho trajo como consecuencia la disminución de la eficiencia del lavado de las vías de maduración, donde los operadores al constatar a través del visor de la tubería la presencia de levaduras luego de la ejecución del lavado, se vieron en la necesidad de repetir los pasos de enjuague hasta eliminar su presencia. Esto implicó un consumo adicional de aproximadamente 39 m³ por lavado, lo cual se tradujo en un incremento del consumo de agua filtrada en 1000 m³/mes.

La situación anteriormente expuesta se mejoró con la instalación del nuevo sistema de preparación de la solución clarificante, el cual se llevó a cabo a mediados de octubre del 2006, normalizando paulatinamente el consumo de agua para los lavados de las vías de maduración.

Duración de los Tiempos de Enjuague en los Lavados de Equipos: A través de la observación de la ejecución de los pasos de los programas de limpieza, se pudo constatar la inestabilidad que presentan las estaciones CIP para que la bomba alcance el "set point" del caudal fijado para los pasos de enjuague.

Esto hecho genera que se necesite un mayor tiempo para que se cumpla el descuento del tiempo de paso, si previamente no se ha descontado el volumen máximo de agua a consumir ó se haya consumido el tiempo de supervisión del paso.

En algunas ocasiones producto de la situación explicada anteriormente, el operador se ve en la necesidad de repetir o realizar manualmente algunos ó todos los pasos que componen el enjuague del equipo, lo cual se traduce en un incremento en el consumo de agua filtrada.

OPORTUNIDADES DE AHORRO DE AGUA Y FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE PROPUESTAS

Con base en el análisis de la operación de los sistemas identificados como de mayor consumo y/o variabilidad en el consumo de agua y, una vez detectadas las causas de problemas recurrentes, a continuación se concretan propuestas de acuerdo a las oportunidades de ahorro de agua en cada uno de los sistemas, así como la factibilidad técnico- económica de su implantación.

Sistema de Lavado de Botellas

En el sistema de lavado de botellas, fue identificado que los tanques N° 7 y 8, además de la última zona de enjuague, presentan un consumo excesivo de agua, por lo cual se seleccionaron dentro de las oportunidades para el ahorro de agua.

Oportunidades para el Ahorro de Agua en el Tanque N° 7

Al observar las características de operación del tanque N° 7, se prevén oportunidades de ahorro de agua si se controla el consumo de agua recuperada utilizada para el control de concentración y temperatura de la solución del tanque, así como las pérdidas de agua durante las paradas de las lavadoras.

Control del Consumo de Agua en el Proceso de Lavado: Como se comentó en la sección anterior, en el tanque N° 7 se incorpora agua recuperada para mantener la temperatura por debajo de 52 °C y la concentración de soda menor a 0,5% p/p, valores que son alterados por el arrastre de solución proveniente del tanque N° 6.

Partiendo de las observaciones en campo, en las cuales se detectó que no hay control alguno en la cantidad de agua recuperada que ingresaba al tanque, se procedió a calcular los requerimientos mínimos de agua para mantener los valores de

concentración y temperatura por debajo de los permitidos, seleccionando como determinante el mayor de los valores resultantes entre ambas condiciones.

Caudal Requerido para el Control de la Concentración de Soda

La figura 27 esquematiza el balance de masa para la soda, alrededor del tanque N° 7, para determinar el caudal de agua requerido para controlar su concentración en 0,5 % p/p (agua de dilución).

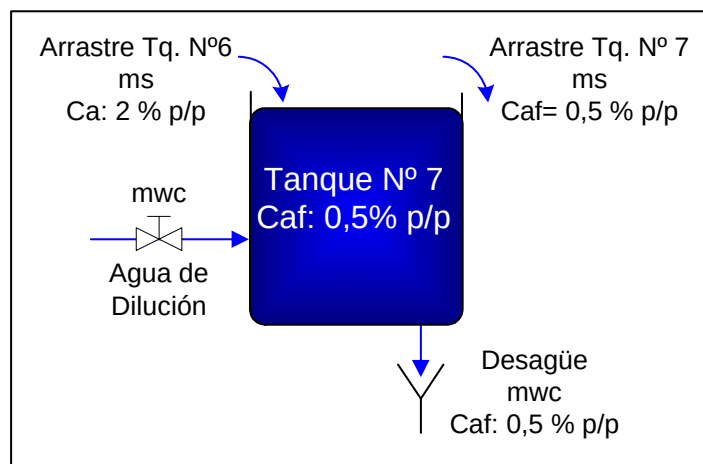


Figura 27. Control de la Concentración de Soda Tanque N° 7 [Elaboración Propia]

donde:

mwc: flujo de masa de agua de dilución (Kg/h)

ms: flujo de masa de solución de arrastrada por las botellas (Kg/h)

Ca: concentración de soda de solución de arrastre del tanque N° 6 (% p/p)

Caf: concentración de soda final del tanque N° 7 (% p/p)

Considerando que la masa de solución arrastrada por las botellas proveniente del tanque N° 6 es igual a la que sale del tanque N° 7 *, y en consecuencia, la masa de agua de dilución es igual a la que rebosa y va al desagüe, a partir del balance de masa para la soda alrededor del tanque N° 7 y asumiendo que la densidad de la solución es

* Este valor fue determinado por la empresa y corroborado mediante ensayos de aforos por el autor

igual a la del agua, la tabla 20 muestra los resultados obtenidos de los caudales de agua recuperada requeridos para controlar la concentración de soda en el tanque N° 7:

Tabla 20. Caudales Requeridos para el Control de la Concentración de Soda en el Tanque N° 7

Lavadora	2		3		4		5	
Muestra	ms (m ³ /h)	mwc (m ³ /h)	ms (m ³ /h)	mwc (m ³ /h)	ms (m ³ /h)	mwc (m ³ /h)	ms (m ³ /h)	mwc (m ³ /h)
1	2,1	6,4	2,1	6,2	1,0	3,1	0,7	2,2
2	2,6	7,7	1,8	5,3	1,5	4,6	1,1	3,3
3	1,9	5,7	3,0	9,1	1,6	4,8	1,0	3,1
Promedio	2,2	6,6	2,3	6,9	1,4	4,2	1,0	2,9

Estos resultados están de acuerdo a lo esperado, teniendo en cuenta que las lavadoras N° 2 y 3, son del mismo modelo y lavan botellas de igual capacidad. Mientras las lavadoras N° 4 y 5, con menor capacidad que las anteriores, son del mismo modelo pero la N° 4 lava envases con mayor capacidad.

Caudal Requerido para el Control de la Temperatura

La figura 28 esquematiza el balance de energía que permite estimar la cantidad de agua requerida para controlar la temperatura del tanque N° 7 en 52 °C durante su operación.

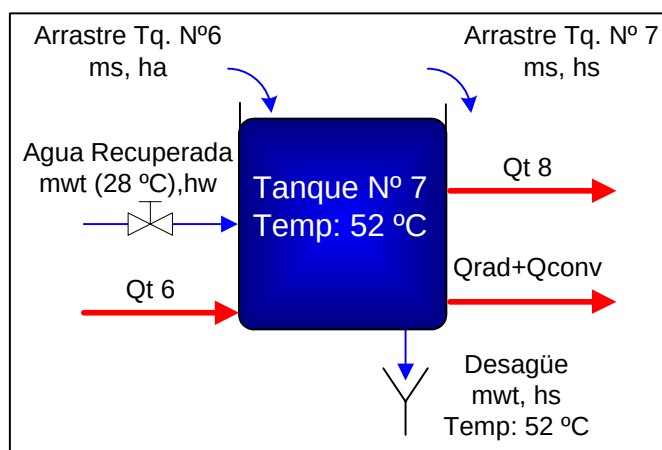


Figura 28. Balance de Energía Tanque N° 7 [Elaboración propia]

donde:

ha: entalpía de la solución de arrastre del tanque N° 6 hacia el N° 7 (KJ/Kg)

mwt: masa de agua requerida para el control de la temperatura (Kg/h)

hw: entalpía del agua requerida para el control de la temperatura (KJ/Kg)

hs: entalpía de la solución de arrastre del tanque N° 7 hacia el N° 8 (KJ/Kg)

Qt 6: calor transferido por conducción desde el tanque N° 6 hacia el N° 7 (KJ/h)

Qt 8: calor transferido por conducción desde el tanque N° 7 hacia el N° 8 (KJ/h)

Qrad: calor transferido por radiación al ambiente (KJ/h)

Qconv: calor transferido por convección al ambiente (KJ/h)

Cpw: calor específico del agua (KJ/Kg*°C)

Partiendo que el arrastre de las botellas proveniente del tanque N° 6 es igual al arrastre que sale del tanque N° 7, el balance de energía queda planteado de la siguiente manera:

$$Mt * Cp_{w(T)} * \frac{dT}{dt} =$$

$$mwt * (hw_{(T=28^{\circ}C)} - hs_{(T)}) + ma * (ha_{(T=70^{\circ}C)} - hs_{(T)}) + Qt6 - Qt8 - Qrad - Qconv \quad (Ec.19)$$

Se procedió evaluar el comportamiento del tanque N° 7 bajo condiciones de operación, restringiendo el flujo de agua recuperada como se muestra en la figura 29:

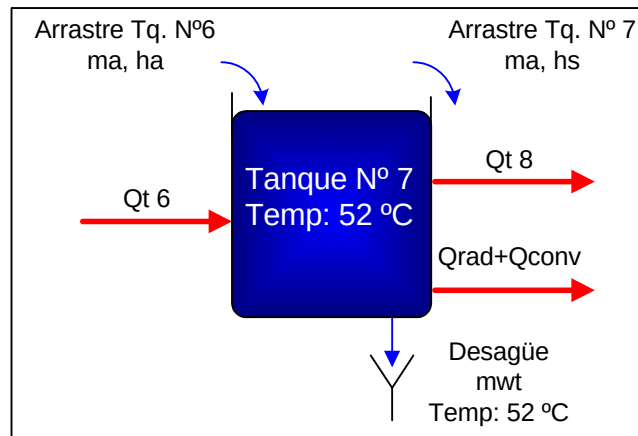


Figura 29. Caso de Estudio Tanque N° 7 [Elaboración Propia]

De esta manera el término $mwt * (hw_{(T=28^{\circ}C)} - hs_{(T)})$ se hace cero y el balance de energía del sistema queda planteado de la siguiente manera:

$$Mt * Cp_{w(T)} * \frac{dT'}{dt} = (ma * (ha_{(T=70^{\circ}C)} - hs_{(T)})) + Qt_6 - Q_{ras} - Q_{conv} - Qt_7 \quad (Ec.20)$$

Determinando experimentalmente la variación de temperatura en el tiempo y seleccionando gráficamente la curva de mejor ajuste, su respectiva expresión se derivó con respecto al tiempo y se evaluó a la temperatura deseada de 52 °C.

Sustituyendo la ecuación 20 en la ecuación 19 para $dT/dt = 0$, se obtiene la siguiente expresión:

$$Mt_7 * Cp_{w(T)} * \frac{dT'}{dt} = mwt * (hw_{(T=28^{\circ}C)} - hs_{(52^{\circ}C)}) + (Mt_7 * Cp_{w(52^{\circ}C)} * \frac{dT'_{(52^{\circ}C)}}{dt}) \quad (Ec.21)$$

$$\Rightarrow mwt = \frac{Mt * Cp_{w(T)} * \frac{dT}{dt} - (Mt * Cp_{w(T)} * \frac{dT'_{(T)}}{dt})}{(hw_{(T=28^{\circ}C)} - hs_{(T)})} \quad (Ec.22)$$

La ecuación 21 evaluada a la temperatura de 52 °C, permite determinar el flujo de agua requerido para mantener la temperatura del agua tanque en dicho valor. La tabla 21 presenta los resultados obtenidos para cada experiencia en cada lavadora, los cuales reflejan las características mencionadas de los módulos de lavadoras

Tabla 21. Caudales Requeridos para el Control de la Temperatura en el Tanque N° 7

Lavadora	2	3	4	5
Muestra	mwt (m³/h)	mwt (m³/h)	mwt (m³/h)	mwt (m³/h)
1	15,3	8,1	5,4	3,1
2	14,1	17,9	8,1	4,5
3	12,0	12,7	9,2	4,3
4	17,9	----	7,1	3,5
Promedio	14,8	12,9	7,4	3,8

La comparación de los caudales determinados para el control de ambas variables permite seleccionar la temperatura como variable predominante, debido a que resultó mayor en todos los casos analizados según se desprende de la tabla 22.

Tabla 22. Caudales para el Control de Temperatura y Concentración del Tanque N° 7

N° Lavadora	2	3	4	5
mwc (m ³ /h)	6,6	6,9	4,2	2,9
mwt (m ³ /h)	14,8	12,9	7,4	3,8

Este resultado constituye una valiosa información para la toma de decisiones que conlleven a optimizar el consumo de agua en dicho tanque, asegurando que la temperatura del tanque no sobrepase el valor de 52 °C y que la concentración de soda sea menor del 0,5 % p/p.

Tomando como margen de seguridad un 10% sobre los caudales óptimos determinados, el ahorro de agua por este concepto alcanzarían casi 6000 m³/mes según se muestra en la tabla 23.

Tabla 23. Oportunidades de Ahorro. Optimización del Caudal de Operación Tanque N° 7

N° Lavadora	Tiempo Operación (h/mes)	Caudal Operación Actual (m ³ /h)	Nuevo Caudal Operación (m ³ /h)	Ahorro de agua (m ³ /mes)
2	245	20	16,3	912
3	222	23	14,2	1.975
4	138	17	8,1	1.267
5	224	12	4,2	1.815
Total				5.969

Control del Consumo de Agua Durante Paradas en Operación: En la puesta en marcha de la lavadora de botellas, el suministro de agua recuperada hacia el tanque N° 7 se hace a través de la apertura de las llaves de paso ubicadas en la línea principal y a la entrada del tanque. Estas llaves de paso no se cierran hasta finalizar la operación de la línea de envasado, salvo retrasos mayores.

Sin embargo las lavadoras de botellas tienen un funcionamiento intermitente, presentando paradas cuya duración es variable, debido a retrasos en la línea de envasado aguas abajo, lo que se traduce en un mayor consumo de agua recuperada.

Conociendo el caudal de operación del agua recuperada y el tiempo de parada mensual equivalente de cada línea de envasado, dato suministrado por la empresa que se asume como el mismo para cada lavadora, se calculó la cantidad de agua perdida mensualmente por no interrumpir el flujo de agua cuando las lavadoras presenten paradas durante su operación. Los resultados se muestran en la tabla 24.

$$A_{RP} = \text{Tiempo parada} * Q_7 \quad (\text{Ec.23})$$

donde:

A_{RP} : agua recuperada perdida (m^3/mes)

Q_7 : caudal puntual de agua suave en el tanque N° 7 (m^3/h)

Tabla 24. Oportunidades de Ahorro. Perdidas de Agua Recuperada Tanque N° 7

N° Lavadora	Caudal Operación Actual (m^3/h)	Tiempo de Parada Equivalente (h/mes)	Perdida de Agua (m^3/mes)
2	20	42	840
3	23	83	1.909
4	17	52	884
5	12	23	276
Total			3.909

Teniendo en cuenta las dos oportunidades de ahorro de agua en el tanque N° 7, la tabla 25 resume el potencial de ahorro total de agua para cada lavadora, así como su costo asociado por consumo y su tratamiento como efluente. Estos se estimaron a partir de la siguiente expresión:

$$Pot.Ah = (C_{AR} + C_{TRAT}) * Ah.Agua \quad (\text{Ec.24})$$

donde:

Pot. Ah: potencial ahorro económico (Bs./mes)

C_{AR} : costo agua recuperada (Bs./m³)

C_{TA} : costo tratamiento de efluentes (Bs./m³)

Ah.Agua: potencial ahorro de consumo de agua (m³/mes)

Los costos del agua filtrada y de tratamiento de efluentes, fueron suministrados por la Superintendencia de Aguas de la cervecaría.

Tabla 25. Potencial Ahorro. Consumo de Agua Recuperada Tanque N° 7

N° Lavadora	Ahorro Total Agua (m ³ /mes)	Consumo de Agua (Bs./mes)	Tratamiento Efluentes (Bs./mes)	Ahorro Total (Bs./mes)
2	1.752	1.375.320	106.872	1.482.192
3	3.884	3.048.940	236.924	3.285.864
4	2.151	1.688.535	131.211	1.819.746
5	2.091	1.641.435	127.551	1.768.986
Total	9.878	7.754.230	602.558	8.356.788

Factibilidad Técnico-Económica de las Propuestas de Ahorro

Para materializar la oportunidad de ahorro de agua para el tanque N° 7 de las lavadoras de botellas expuestas anteriormente, se realizaron dos propuestas.

Determinada la temperatura como variable preponderante sobre la concentración de soda, la primera propuesta consiste en instalar un sistema de control de temperatura, que regule el consumo de agua solo a lo requerido para mantener dicha variable en 52 °C. Adicionalmente este sistema permitirá eliminar las pérdidas de agua que ocasionarían durante los tiempos de parada en la operación de la lavadora, al no haber incremento de temperatura.

La segunda propuesta consiste en instalar una placa orificio que regule el consumo de agua a los caudales óptimos estimados y la instalación de un sistema de control on- off para la interrupción del flujo de agua cuando se presenten paradas de la lavadora durante la operación.

A continuación se presentan algunas consideraciones de carácter técnico asociados a instalación de la propuestas realizadas, así como su respectivo estudio económico.

Propuesta N° 1: Instalación de sistema de control de temperatura:

Aspectos Técnicos:

- a) El sistema de aire comprimido para control ya está instalado.
- b) Optimiza el consumo de agua para controlar la temperatura del tanque.
- c) No requiere de la intervención del operador.
- d) Requiere de mantenimiento y supervisión periódica.
- e) Requiere la instalación de un bypass en la tubería de agua destinado para el llenado del tanque.
- f) El tiempo requerido para su instalación es corto (un fin de semana).

Estudio Económico:

Los costos de los instrumentos fueron suministrados por el Departamento de Almacén Central de la cervecera e información de fabricantes extraídas de Internet. Los costos de instalación fueron suministrados por contratistas que ofrecen sus servicios a la cervecera.

Tabla 26. Costos de Inversión. Sistema de Control de Temperatura Tanque N° 7

Costos de Inversión	(Bs./Lavadora)
Instrumentos / Materiales	12.233.300
Instalación Mecánica	361.600
Instalación Eléctrica	1.860.864
Total	14.455.584

El estudio económico comprendió la determinación del tiempo de retorno de inversión, en función del costo de implementación de la propuesta y el potencial ahorro económico mensual esperado para cada lavadora. En este estudio, no se toma en cuenta el valor del dinero a través del tiempo porque no se dispone la información de la tasa de descuento de la empresa.

Tabla 27. Estudio Económico. Sistema de Control de Temperatura Tanque N° 7

N° Lavadora	2	3	4	5
Tiempo Retorno Inversión	10 meses	4,5 meses	8 meses	8,5 meses

Propuesta N° 2: Instalación de Placas de Orificio y Sistema de Control On-Off

Aspectos Técnicos:

* Placas Orificio:

- a) Bajo costo de instrumentación y mantenimiento.
- b) El caudal fijado debe considerar un margen de seguridad para el control de la temperatura, lo cual disminuye la optimización del consumo de agua.
- c) El diámetro del orificio va a depender del caudal requerido y de la presión que presente la tubería de agua.
- d) Se requiere de la instalación de un bypass en la tubería de agua destinado para el llenado del tanque.
- e) No requiere de la asistencia del operador.
- f) El tiempo requerido para su instalación es corto (un fin de semana).

* Sistema de Control On-Off:

- a) El sistema de aire comprimido para control ya está instalado.
- b) No requiere de la intervención del operador.
- c) Se requiere de mantenimiento y supervisión periódica.
- d) El tiempo requerido para su instalación es corto (un fin de semana)

Estudio Económico:

Tabla 28. Costos de Inversión. Placa Orificio y Sistema de Control On- Off Tanque N° 7

Costos de Inversión	Placa Orificio (Bs./Lavadora)	Control On-Off (Bs./Lavadora)
Instrumentos / Materiales	236.777	1.197.000
Instalación Mecánica	658.859	361.600
Total (Bs./Lavadora)	895.636	1.588.600

El estudio económico basado en el tiempo de retorno de inversión de la propuesta de instalación conjunta de una placa orificio y de un sistema de control on-off es el siguiente:

Tabla 29. Estudio Económico. Placa Orificio y Sistema de Control On-Off Tanque N° 7

N° Lavadora	2	3	4	5
Tiempo Retorno Inversión	2 meses	1 mes	1,5 meses	1,5 meses

Analizando el estudio económico para ambas propuestas, es obvio que la instalación de las placas orificio resulta más atractiva, generando el retorno de la inversión de manera casi inmediata. Sin embargo, la opción de instalar el sistema de control de temperatura no deja de ser interesante, dado que a pesar de tener un mayor tiempo de retorno de inversión, esta permitiría optimizar el consumo de agua a solo lo requerido para mantener dicha variable dentro del rango de operación y controlar de manera más eficiente el consumo de agua en dicho tanque.

Oportunidades para el Ahorro de Agua en el Tanque N° 8

De manera similar a lo argumentado para el tanque N° 7, las oportunidades de ahorro en el consumo de agua suave para el tanque N° 8 estarán centradas en el control del consumo de agua en el proceso de lavado, así como durante las paradas de la lavadora N° 2.

Control del Consumo de Agua en el Proceso de Lavado: Como se comentó en la sección anterior, en el tanque N° 8 se incorpora agua suave para mantener la

temperatura por debajo de 42 °C y la concentración de soda menor a 0,1 % p/p, valores que son alterados por el arrastre de solución proveniente del tanque N° 7.

De las observaciones en campo se detectó que no hay control efectivo en la cantidad de agua suave que ingresaba al tanque, se procedió a calcular los requerimientos mínimos de agua para mantener los valores de concentración y temperatura por debajo de los permitidos, utilizando el mismo procedimiento expuesto en el caso del tanque N° 7.

La tabla 30 muestra los caudales requeridos para controlar las variables de temperatura y concentración del tanque N° 8 de las lavadoras y así determinar la variable predominante del sistema:

Tabla 30. Caudales para el Control de Temperatura y Concentración del Tanque N° 8

N° Lavadora	2	3	4	5
mwc (m ³ /h)	8,8	7,7	5,5	3,9
mwt (m ³ /h)	11,4	8,2	6,1	3,8

Igual que para el tanque N° 7, la temperatura es la variable determinante sobre el sistema en estudio, salvo en el caso de la lavadora N° 5 donde el caudal requerido para regular ambas variables es prácticamente el mismo.

Tomando como margen de seguridad un 10% sobre los caudales óptimos determinados, se procedió a calcular la cantidad de agua que se podría ahorrar mensualmente, cuyo resultado se muestra en la tabla 31.

Tabla 31. Oportunidades de Ahorro. Optimización del Caudal de Operación Tanque N° 8

N° Lavadora	Tiempo Operación (h/mes)	Caudal Operación Actual (m ³ /h)	Nuevo Caudal Operación (m ³ /h)	Ahorro de agua (m ³ /mes)
2	245	27	12,5	3.553
3	222	24	9	3.330
4	138	30	6,7	3.215
5	224	16	4,3	2.621
Total				12.719

Control del Consumo de Agua Durante Paradas de la Lavadora N° 2: Las lavadoras de botellas poseen un sistema de control on-off, ubicado en la tubería de agua suave que alimenta el tanque N° 8 y la última zona de enjuague, que interrumpe el flujo de agua cuando la lavadora presenta alguna parada durante su operación.

La figura 30 muestra el caso de la lavadora N° 2, donde la válvula neumática por error, se encuentra instalada de manera que no actúa sobre el suministro de agua hacia el tanque N° 8 como en las demás lavadoras, generando un consumo innecesario de agua por las paradas durante la operación.

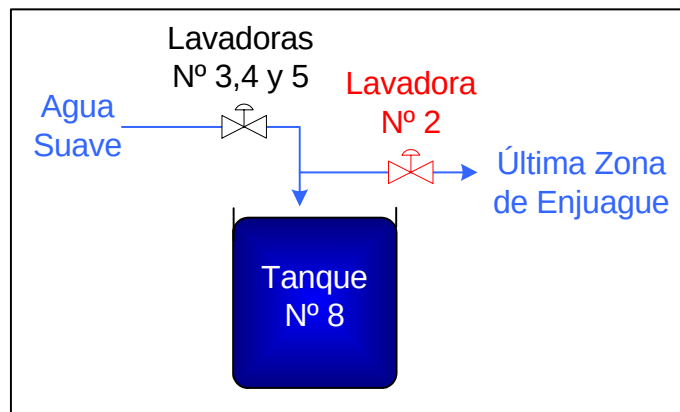


Figura 30. Ubicación Válvula Neumática Tubería Agua Suave

De igual manera que en el análisis del tanque N° 7, se calculó la cantidad de agua que se está perdiendo mensualmente por dicho consumo en exceso.

Tabla 32. Oportunidad de Ahorro. Perdidas de Agua Suave Lavadora N° 2

Caudal de Operación Actual (m ³ /h)	Tiempo de Parada Equivalente (h/mes)	Perdida de Agua Suave (m ³ /mes)
27	42	1.116

Teniendo en cuenta las dos oportunidades de ahorro de agua en el tanque N° 8, la tabla 33 resume el potencial de ahorro total de agua para cada lavadora, así como su costo asociado por consumo y su tratamiento como efluente. Estos se estimaron a partir de la siguiente expresión:

$$Pot.Ah = (C_{AS} + C_{TRAT}) * Ah.Agua \quad (Ec.25)$$

donde:

C_{AS} : costo agua suave (Bs./m³)

Tabla 33. Potencial Ahorro. Consumo de Agua Suave Tanque N° 8

N° Lavadora	Ahorro Total Agua (m ³ /mes)	Consumo de Agua (Bs./mes)	Tratamiento Efluentes (Bs./mes)	Ahorro Total (Bs./mes)
2	4.669	6.858.027	284.779	7.142.805
3	3.330	4.891.770	203.130	5.094.900
4	3.215	4.723.423	196.139	4.919.562
5	2.621	3.849.955	159.869	4.009.824
Total	13.835	20.323.174	843.917	21.167.091

Igual que en el caso anterior la información de los costos unitarios fueron obtenidos en la empresa.

Factibilidad Técnico-Económica de las Propuestas de Ahorro: Para materializar la oportunidad de ahorro de agua para el tanque N° 8 de las lavadoras de botellas expuestas anteriormente, se realizaron dos propuestas.

Determinada la temperatura como variable determinante para las lavadoras N° 2, 3 y 4, y de igual importancia que la variable de concentración para la lavadora N° 5, la primera propuesta consiste en instalar un sistema de control de temperatura. Ésta permitirá regular el consumo de agua sólo a lo requerido para mantener dicha variable en 42 °C, durante el lavado de botellas y paradas en operación.

La segunda propuesta consiste en instalar una placa orificio que regule el consumo de agua a los caudales óptimos estimados, sin modificar el sistema de control on- off para la interrupción del flujo de agua presentes en la lavadoras N° 3, 4 y 5. En el caso de la lavadora N° 2, por lo explicado anteriormente, se propone la reubicación de la válvula neumática de dicho sistema de control.

A continuación se presenta los aspectos técnicos que implican la instalación de la propuestas realizadas y su respectivo estudio económico. Debido a que los casos de los sistemas de control de temperatura, on-off y placas orificios ya fueron

expuestos para el caso del tanque N° 7, solo se explicará lo referente a la reubicación de la válvula neumática de la tubería de agua suave en la lavadora N° 2.

Reubicación de Válvula Neumática:

Aspectos Técnicos:

- a) Se dispone de la válvula neumática
- b) El sistema de aire comprimido para control ya se encuentra instalado.
- c) El tiempo requerido para su instalación es corto (un fin de semana).

Estudio Económico:

Tabla 34. Costos de Inversión Instalación Válvula Neumática Lavadora N° 2

Costos de Inversión	(Bs./Lavadora)
Instalación Mecánica	361.600

El estudio económico de las propuestas basado en el tiempo de retorno de inversión es el siguiente:

Tabla 35. Estudio Económico. Propuestas Control de Consumo de Agua Suave Tanque N° 8

N° Lavadora	Tiempo Retorno Inversión			
	2	3	4	5
Sistema de Control de Temperatura	2 meses	3 meses	3 meses	3,5 meses
Placas Orificio + Reubicación Válvula Lavadora N° 2	1 sem.	1 sem.	1 sem.	1 sem.

Los resultados obtenidos a partir del estudio son similares al caso de la propuesta de la reducción del consumo de agua en el tanque N° 7, con tiempos de retorno menores debido al mayor costo y volumen del agua suave a ahorrar.

Se observa que la medida propuesta de instalar placas orificio tiene un tiempo de retorno de inversión prácticamente inmediato. Sin embargo hay que destacar que los tiempos de retorno de inversión de la instalación de sistemas de control de

temperatura son apenas menores a los cuatro meses, además de las ventajas que ésta conlleva. De esta manera se puede afirmar que ambas propuestas son muy atractivas.

Oportunidades para el Ahorro de Agua de la Última Zona de Enjuague: Las botellas antes de salir de la lavadora son enjuagadas con agua suave, tanto en su interior por inyectores de agua a presión, como en su exterior con agua que cae de la bandeja rociadora como se muestra en la figura 31. Este enjuague tiene como finalidad garantizar la eliminación de cualquier traza de soda que pueda tener las botellas y así garantizar las condiciones asépticas de las mismas.

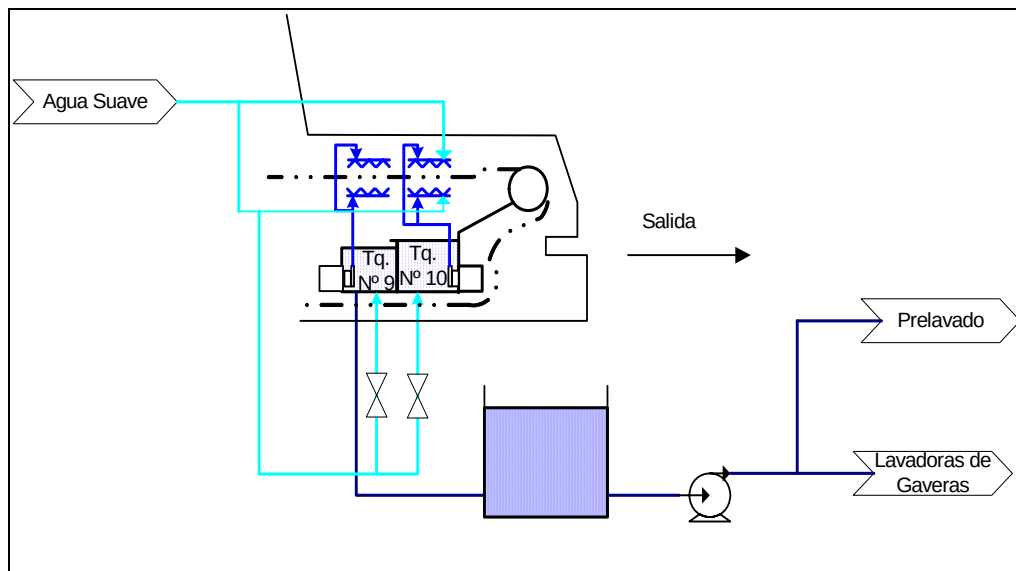


Figura 31. Consumo de Agua Suave en la Última Zona de Enjuague

La oportunidad de ahorro de consumo de agua radica en regular los caudales de operación de los inyectores de agua y de la bandeja rociadora, teniendo en cuenta que se debe de garantizar la presión de operación requerida por los inyectores y que se cumpla el lavado adecuado de las botellas.

Para determinar la eficiencia del consumo de agua en la última zona de enjuague, se calculó el índice de consumo de agua suave (volumen agua/botellas). La tabla 36 muestra los resultados obtenidos para cada lavadora.

$$I = \frac{Q'_{10} * \text{Tiempo op}}{\text{bot.lav}} \quad (\text{Ec.26})$$

donde:

I: índice de consumo agua suave (ml/botella)

bot.lav: cantidad de botellas lavadas al mes (botellas/mes)

Tabla 36. Índice de Consumo de Agua Suave en la Última Zona de Enjuague

Nº Lavadora	2	3	4	5
Índice de Consumo (ml agua/ botella)	77	95	284	142

Se observa que las lavadoras Nº 4 y 5 son las que presentan un mayor consumo agua suave por botella, presentándose entre ellas también una diferencia notable, siendo el consumo de la lavadora Nº 4 el doble que la lavadora Nº 5 a pesar de que se son lavadoras del mismo modelo, pero teniendo en cuenta que la primera lava envases de mayor capacidad (333 y 222 ml respectivamente). De igual manera se aprecia la diferencia de consumo entre la lavadora Nº 2 y 3, a pesar de ser del mismo modelo y lavar envases de igual volumen.

De lo anterior se concluye que en ninguna de las lavadoras el consumo de agua en la última zona de enjuague presenta una regulación efectiva.

Conociendo que en la actualidad todas las lavadoras de botellas cumplen con las condiciones asépticas requeridas, se tomó como referencia el índice de consumo menor (lavadora Nº 2) y se estimó el volumen de agua requerida para las demás lavadoras en función del volumen del envase lavado.

$$I_{\text{Nuevo } N^{\circ}x} = I_{\text{Lavadora } N^{\circ}2} * \frac{\text{Vol}_{\text{Botella } N^{\circ}x}}{\text{Vol}_{\text{Botella } N^{\circ}2}} \quad (\text{Ec.27})$$

donde:

$I_{\text{Nuevo } N^{\circ}x}$: índice de consumo nuevo para la lavadora Nº x (ml/botella)

$I_{\text{Lavadora } N^{\circ}2}$: índice de consumo de la lavadora Nº 2 (ml/botella)

$\text{Vol}_{\text{Botella } N^{\circ}x}$: volumen de la botella en la lavadora Nº x (ml)

Vol_{Botella N°2}: volumen de la botella en la lavadora N° 2 (ml)

El potencial de ahorro del consumo de agua suave para cada una de las lavadoras se obtiene de la siguiente manera:

$$Ah.Agua = (I_{Lavadora\ N^{\circ}x} - I_{Nuevo\ N^{\circ}x}) * bot.lav \quad (Ec.28)$$

donde:

$I_{Lavadora\ N^{\circ}x}$: índice de consumo actual de la lavadora N°x (ml/botella)

La tabla 37 muestra las oportunidades de ahorro existentes en la regulación del consumo de agua suave en la última de enjuague de las lavadoras.

Tabla 37. Oportunidad de Ahorro del Consumo de Agua Suave en la Última Zona de Enjuague

N° Lavadora	Tiempo Operación (h/mes)	Actual Caudal Operación (m³/h)	Nuevo Caudal Operación (m³/h)	Ahorro de Agua (m³/mes)
3	222	14	11	552
4	138	26	11	2.133
5	224	13	7	1.320
Total				4.005

Los potenciales ahorros económicos, donde la información de los costos unitarios fueron obtenidos en la empresa, por la regulación del consumo de agua suave en la última zona de enjuague se estimaron a partir de la ecuación 24 y los resultados se muestran en la tabla 38.

Tabla 38. Potencial Ahorro. Consumo de Agua Suave Última Zona de Enjuague

N° Lavadora	Consumo de Agua (Bs./mes)	Tratamiento Efluentes (Bs./mes)	Ahorro Total (Bs./mes)
3	810.888	33.672	844.560
4	3.133.377	130.113	3.263.490
5	1.939.080	80.520	2.019.600
Total	5.883.345	244.305	6.127.650

Factibilidad Técnico-Económica de las Propuesta de Ahorro: Para materializar la oportunidad de ahorro de agua para la última zona de enjuague de las lavadoras de botellas, se propone regular el caudal de operación de acuerdo a los valores expuestos en la tabla 37, mediante la instalación de placas orificio en las tuberías de suministro de agua hacia la bandeja rociadora superior de lavado externo y de los inyectores de agua para el lavado interno de las botellas.

A continuación se presentan los aspectos técnicos que implican la instalación de dicha propuesta y su respectivo estudio económico.

Aspectos Técnicos:

- a) La propuesta debe de ser implementada en conjunto con la regulación del consumo de agua del tanque N° 8 debido a la naturaleza hidráulica del sistema de agua suave.
- b) Asegurar el cumplimiento de las condiciones asépticas del lavado de botellas.
- c) Se debe cumplir con la presión de operación de los inyectores de agua (2 bar) para asegurar el lavado adecuado del interior de las botellas.
- d) Los aspectos técnicos a tener en cuenta en la instalación de placas orificio, son los mismos expuestos en la propuesta del tanque N° 7.

Estudio Económico:

Tabla 39. Costos de Inversión Placa Orificio Última Zona de Enjuague

Costos de Inversión	(Bs./Lavadora)
Desmontaje	108.094 x 2
Fabricación	236.777 x 2
Instalación Mecánica	550.765 x 2
Total	1.791.272

El estudio económico de las propuestas basado en el tiempo de retorno de inversión es el siguiente:

Tabla 40. Estudio Económico. Propuesta Placa Orificio Última Zona de Enjuague

Nº Lavadora	3	4	5
Tiempo Retorno Inversión	2 meses	2 sem.	1 mes

Los resultados indican que la propuesta de regulación del consumo de agua en la última zona de enjuague es muy atractiva, con cortos tiempo de recuperación de inversión. Sin embargo hay que destacar que su implantación genera la necesidad de estudiar el cumplimiento de las condiciones asépticas del lavado de las botellas y del éxito de la regulación del consumo de agua suave en el tanque N° 8.

Sistema de Pasteurización

En el sistema de pasteurización, fue identificado que durante la puesta a en marcha de los pasteurizadores y su operación se presenta un consumo en exceso de agua, además de registrarse en algunos casos consumos de agua sin operación, por lo cual se seleccionaron éstas como oportunidades para el ahorro de agua.

Reducción del Tiempo de la Etapa de Mantenimiento de Temperatura: La oportunidad de ahorro radica en reducir la duración de la etapa de operación de Mantenimiento de Temperatura y con ello el consumo innecesario de agua recuperada y vapor.

Para lograr este objetivo se determinó el tiempo requerido para alcanzar las condiciones de temperatura de operación, cuyo conocimiento permite sincronizar de manera más eficiente el encendido del pasteurizador con la puesta a punto de los demás equipos de la línea de envasado.

Los tiempos para la puesta a punto de cada pasteurizador se determinaron cuatro veces, a través del análisis de los registros de las gráficas generadas por el PLC (Programmable Logic Controller) de los sistemas de control de temperatura de los tanques de agua. De esta manera el tiempo requerido es aquel en que todos los tanques de agua alcanzaron su "set point" de temperatura.

En la determinación los tiempos de pre-calentamiento requeridos, que se muestran en la tabla 41, se toman en cuenta las condiciones más críticas de cada equipo: día en que los tanques tienen las temperaturas más bajas (primer día de operación de la semana) y productos que requieren perfiles de temperatura mayores (malta y botellas de mayor volumen), además de 15 min. para llevar a cabo los chequeos de rutina del pasteurizador.

Tabla 41. Tiempo para Puesta a Punto de los Pasteurizadores

Pasteurizador	Muestras tiempos Puesta a Punto (min.)				Promedio (min.)	Tiempo Requerido (+15 min.)
	1	2	3	4		
2	51	50	52	50	51	66
3	30	30	35	25	30	45
4	35	35	40	35	36	51
5	30	40	30	35	34	49
6	45	35	35	40	39	54
7	60	70	60	65	64	79
8	35	45	40	40	40	55

La tabla 42 muestra para cada uno de los pasteurizadores los caudales de agua recuperada, de vapor y agua desmineralizada requerida para su generación, los porcentajes de recuperación de agua y los tiempos acumulados mensuales de la etapa de operación de Mantenimiento de Temperatura.

Tabla 42. Datos Pasteurizadores para Etapa de Mantenimiento de Temperatura

Pasteurizador	2	4	5	6	7	8
Agua Recuperada (m³/h)	16,3	17,5	12,2	24,3	22,6	22,3
Vapor (Kg/h)	2.086	2.261	2.532	2.532	2.613	2.308
Agua Desmineralizada (m³/h)	2,5	2,7	3,0	3,0	3,1	2,7
% Recuperación	49	52	74	52	61	44
Tiempo Mantenimiento Temp. (h/mes)	21	25	2	53	54	24

La oportunidad de ahorro de agua a partir de la reducción de los tiempos de la etapa de operación de Mantenimiento de Temperatura, teniendo en cuenta del tiempo requerido para la puesta a punto de los pasteurizadores, se muestran en la tabla 43.

Como el agua que consumen los pasteurizadores es recuperada para su reutilización, se consideró en la determinación el ahorro de agua aquella que no se ha recuperado y el agua desmineralizada utilizada para generar el vapor consumido.

Tabla 43. Oportunidad de Ahorro. Reducción Tiempo de Mantenimiento de Temperatura

Ahorro (m ³ /mes)	Pasteurizador						Total (m ³ /mes)
	2	4	5	6	7	8	
Agua Recuperada	168	227	18	671	745	236	2.065
Agua Desmineralizada	53	68	6	159	167	65	517
Total	220	295	24	830	912	300	2.582

El potencial ahorro económico por la reducción de la duración de la etapa de Mantenimiento de Temperatura se muestra en la tabla 44 y se estimó de la siguiente manera:

$$Pot.Ah = (V_{ARMT} * C_{AR}) + (V_{ADMT} * C_{AD}) + \left[V_{ARMT} * \left(\frac{100 - \%Recp}{100} \right) * C_{TRAT} \right] \quad (Ec. 29)$$

donde:

V_{ARMT} : volumen de agua recuperada consumida en el Mantenimiento de Temperatura (m³/mes)

C_{AR} : costo de agua recuperada (Bs./m³)

V_{ADMT} : volumen de agua desmineralizada consumida en el Mantenimiento de Temperatura (m³/mes)

C_{AD} : costo de agua de desmineralizada (Bs./m³)

Tabla 44. Ahorro Económico. Reducción del Tiempo de la Etapa de Mantenimiento de Temperatura

Nº Pasteurizador	2	4	5	6	7	8	Total
Ahorro (Bs./mes)	236.109	312.717	25.827	846.802	919.002	315.462	2.655.917

La información de los costos del agua recuperada y desmineraliza fueron obtenidos en la empresa.

Factibilidad Técnico-Económica de las Propuestas de Ahorro: Para materializar la oportunidad de ahorro de agua se propone modificar el procedimiento de la puesta en marcha de los pasteurizadores, a través del conocimiento del tiempo requerido para alcanzar las condiciones de temperatura de operación y en función de la puesta a punto de los demás equipos de la línea de envasado, de manera de reducir el tiempo de duración de la etapa de Mantenimiento de Temperatura.

A continuación se presenta los aspectos técnicos que implican la implementación de la propuesta realizada y su respectivo estudio económico.

Aspectos Técnicos:

- a) Los tiempos necesarios para alcanzar las condiciones de temperatura de los tanques de agua, incluyen 15 min. para que el personal de operación pueda supervisar el buen funcionamiento del pasteurizador (balanceo de bombas, funcionamiento de los sistemas de control de nivel de los tanques y de las válvulas reguladoras del sistema de control de temperatura).
- b) Si se han hecho modificaciones en los "set point" de la temperatura de los tanques de agua, encender el pasteurizador con un turno de anticipación (8 horas) para verificar su buen funcionamiento.

Aspectos Económicos:

Debido a que la propuesta realizada es una modificación al procedimiento de la puesta en marcha del pasteurizador, no requiere de inversión en instalación de equipos o modificaciones a los existentes, sino los asociados al entrenamiento del personal de operación.

Eliminación del Consumo de Agua Recuperada sin Operación: La oportunidad de ahorro consta en eliminar las causas que dan origen al consumo de agua recuperada sin operación de los pasteurizadores, las cuales son las fallas de los sistemas mecánicos de control de nivel de los tanques de agua y el incumplimiento por parte de los operadores de cerrar la llave de suministro de la tubería principal.

A pesar que este consumo en exceso en parte se origina a partir de un error humano, un hecho no cuantificable, se tomó como la oportunidad de ahorro, mostrada en la tabla 45, el consumo sin operación que se registró en los pasteurizadores N° 2, 4 y 8 durante el tiempo en que se siguió los registros de consumo de agua recuperada.

Tabla 45. Oportunidad de Ahorro. Eliminación del Consumo de Agua sin Operación

Ahorro (m ³ /mes)	Pasteurizador			Total (m ³ /mes)
	2	4	8	
Agua Recuperada	475	2.285	533	3.294

El potencial ahorro económico por la eliminación del consumo de agua sin operación, donde la información de los costos de los insumos fueron obtenidos en la empresa, se muestra en la tabla „ y se estimó de la siguiente manera:

$$Pot.Ah = V_{ASSO} * (C_{AR} + C_{TRAT}) \quad (Ec.30)$$

donde:

V_{ASSO} : volumen de agua de servicio consumida sin operación (m³/mes)

Tabla 46. Ahorro Económico. Eliminación del Consumo de Agua de Servicio sin Operación

N° Pasteurizador	2	4	8	Total
Ahorro (Bs./mes)	401.850	1.933.110	450.918	2.786.724

Factibilidad Técnico-Económica de la Propuestas de Ahorro: Para materializar la oportunidad de ahorro de agua se propone entrenar el personal operativo, para mejorar los procedimientos de supervisión del funcionamiento de los sistemas mecánicos de control de nivel de los tanques de agua y el cierre de la llave principal

de la tubería de suministro de agua recuperada al finalizar el funcionamiento de la línea de envasado.

A continuación se presenta los aspectos técnicos que implican la implementación de la propuesta realizada y su respectivo estudio económico.

Aspectos Técnicos:

- a) Verificar el funcionamiento de los sistemas de control de nivel de los tanques de agua y del suministro de aire de control al inicio de cada turno.

Aspectos Económicos:

Debido a que la propuesta realizada es solo un recordatorio de las prácticas operacionales de los pasteurizadores, que no se están cumpliendo con la regularidad requerida, no contempla en equipos o modificación de los mismos, solo del reforzamiento del entrenamiento del personal de operación.

Disminución del Consumo de Agua Recuperada en la Etapa de Pasteurización: Teniendo el conocimiento de que todos los equipos cumplen con las unidades de pasteurización requeridas por el producto, además de la similitud en los modelos y tecnologías de operación, la oportunidad de ahorro viene dada por estandarizar los consumos de agua de servicio de los pasteurizadores tomando como referencia aquellos cuyo consumo de agua sea más eficiente.

Para esto se procedió a calcular los tiempos de residencia del agua de los equipos durante la etapa de Pasteurización del producto envasado. Esto permite comparar de forma adecuada el eficiencia de los pasteurizadores debido a que ésta no se ve afectada por el tiempo de operación semanal, la cantidad de producto procesado y las paradas generadas durante la operación.

El tiempo de residencia del agua en los pasteurizadores se calculo de la siguiente manera y se muestran en la tabla 47:

$$t_R = V_p / Q_p \quad (\text{Ec.31})$$

donde:

t_R : tiempo de residencia (h)

V_p : volumen del pasteurizador (m^3)

Q_p : Caudal de operación (m^3/h).

Tabla 47. Tiempos de Residencia de los Pasteurizadores

Pasteurizador	2	4	5	6	7	8
Caudal Operación (m^3/h)	11,0	18,3	9,3	16,7	18,6	13,2
Volumen Paster (m^3)	59,5	26,3	49,4	49,4	49,5	49,5
Tiempo Residencia (h)	5,4	1,4	5,3	3,0	2,7	3,7

Se observa que los pasteurizadores N° 2 y 5, son los que presentan mayores tiempos de residencia y como consecuencia un menor consumo de agua. Dichos tiempos de residencia son utilizados como referencia para estandarizar los consumos de agua de los pasteurizadores antiguos y los modelos nuevos respectivamente.

Con los nuevos tiempo de residencia de referencia y los volúmenes de agua de los pasteurizadores, se procedió a calcular los nuevos caudales de operación.

$$Q_{NP} = V_p / t_{NR} \quad (\text{Ec.32})$$

donde:

Q_{NP} : nuevo caudal de operación del pasteurizador (m^3/h)

t_{NR} : nuevo tiempo de residencia del agua en el pasteurizador (h).

Conociendo los tiempos de operación mensual, los nuevos caudales de operación y los costos de tratamiento de efluentes suministrado por la empresa, se procedió a calcular el potencial de ahorro para cada pasteurizador por la disminución del caudal de operación a partir de la siguiente expresión, cuyos resultados se muestra en la tabla 48.

$$Pot.Ah = (Q_p - Q_{NP}) * t_{OP} * (C_{AR} + C_{TRAT}) \quad (\text{Ec.33})$$

donde:

t_{OP} : tiempo de operación mensual del pasteurizador (h/mes)

Tabla 48. Potencial de Ahorro. Disminución del Caudal de Agua de Operación

Pasteurizador	4	6	7	8	
Caudal Nuevo (m ³ /h)	4,9	9,3	9,2	9,2	
Tiempo Operación (h/mes)	223	308	111	150	Total
Ahorro Agua (m ³ /mes)	2.988	2.276	1.044	610	6.918
Ahorro (Bs./mes)	2.527.758	1.925.416	882.938	516.366	5.852.478

Factibilidad Técnico-Económica de la Propuesta de Ahorro: Para materializar la oportunidad de ahorro de agua se propone mejorar las prácticas operacionales y el entrenamiento del personal operativo con respecto a la realización periódica del balanceo hidráulico de los pares de bombas de las zonas regenerativas, para así evitar mayores consumos de agua, además del chequeo rutinario del funcionamiento de los sistemas mecánicos de control de nivel de los tanques de agua y del sistema de control de temperatura

A continuación se presentan los aspectos técnicos que implican la implementación de la propuesta realizada y su respectivo estudio económico.

Aspectos Técnicos:

- El correcto balanceo hidráulico de los pares de bombas puede corroborar con el rebose que se presenta en los tanques de agua de los pasteurizadores.
- Verificar el adecuado funcionamiento de las válvulas reguladoras de los sistemas de control de temperatura.
- Verificar el suministro de aire de control para el sistema de regula el nivel de los tanques de agua.

Aspectos Económicos:

Debido a que la propuesta realizada consiste en un recordatorio de las prácticas operacionales de los pasteurizadores, que no se están cumpliendo con la regularidad requerida, no contempla inversión en equipos o modificaciones de los actuales, solo del reforzamiento del entrenamiento del personal de operación.

Sistema Agua Helada - Enfriamiento de Mosto - Cocimiento

La presencia de un desbalance térmico en el sistema ha dado como resultado el incremento del consumo de agua helada para el enfriamiento de mosto, generando periódicamente el rebose de los tanques de agua caliente, en especial durante el enfriamiento de los cocimientos de malta. De esta manera la pérdida de agua caliente por el desborde de los tanques de almacenamiento, se seleccionó como oportunidad para el ahorro de agua.

Para la contabilización de la cantidad de agua que se pierde por rebose se estimó de la siguiente manera:

$$Reb = Q_{AC\ MALTA} \cdot t_{REB} \quad (Ec.34)$$

donde:

Reb: rebose de los tanques de agua caliente (m³/mes)

$Q_{AC\ MALTA}$: caudal de agua caliente (m³/h)

t_{REB} : tiempo de rebose en los tanques (h/mes)

El caudal de agua caliente es igual al caudal de agua helada utilizado para el enfriamiento del mosto de malta (66 m³/h), determinado a través del balance de energía para ambos intercambiadores de placas planteado anteriormente.

En la determinación del tiempo mensual de rebose de los tanques (17 h/mes), se procedió a evaluar los registros de los niveles de los tanques de agua caliente con la finalidad de determinar el tiempo cuyo nivel estuvo en 100 %. Cabe destacar que sólo fue posible utilizar los históricos de noviembre 2006, ya que tanto el mes de octubre como diciembre presentaron interrupciones en los registros.

De esta manera el potencial de ahorro de agua que se presenta por el rebose de los tanques de agua caliente es de 1133 m³/mes. El ahorro económico por concepto de consumo y tratamiento de efluentes se muestra en la tabla 49 y se estimó de la siguiente manera, donde la información referente a los costos del agua caliente y tratamiento de efluentes fue suministrada por la empresa.

$$Pot.Ah = Reb * (C_{AC} + C_{TRAT}) \quad (Ec.35)$$

donde:

C_{AC} : costo del agua caliente (Bs./m³)

Tabla 49. Ahorro Económico. Rebose de los Tanques de Almacenamiento de Agua Caliente

Ahorro (Bs./mes)		
Consumo Agua	Tratamiento Efluentes	Total
1.860.309	79.971	1.940.280

Al analizar las causas que dan origen al rebose de los tanques de agua caliente, se prevé la oportunidad de ahorro de agua si se optimiza la eficiencia de los intercambiadores de placas que utilizan como refrigerante agua helada y alcohol, además de aumentar la capacidad de recolección de agua por parte de los tanques que componen el sistema de agua caliente.

Optimización de la Eficiencia de los Intercambiadores de Placas de Agua Helada

Como se mencionó anteriormente, debido a las altas temperaturas que presenta actualmente el agua helada, trae como consecuencia un mayor consumo de la misma para alcanzar las temperaturas deseadas en el enfriamiento de mosto para cerveza (10 °C) y del mosto para malta (8 °C).

La oportunidad de ahorro de agua radica disminuir el consumo de agua helada para el enfriamiento del mosto y evitar el rebose de los tanques de agua caliente, optimizando la eficiencia de los intercambiadores de placas a través de la reducción de la temperatura del agua helada hasta el valor de diseño de 3 °C.

Para que el agua helada presente la temperatura requerida, es necesario determinar el flujo óptimo de agua cervecera que alimenta a los intercambiadores de amoníaco, en función de sus características y condiciones de operación actuales.

Para ello se requirieron y determinaron los siguientes datos de operación de los intercambiadores de calor de amoníaco:

- a) Flujo, temperatura y presión, de entrada y salida del agua, los cuales fueron tomados de los registros históricos, abarcando diez condiciones de operación que presentando muy poca variación entre ellos.
- b) Temperatura y presión de entrada del amoníaco, los cuales fueron tomados de los registros del sistema de suministro de dicho refrigerante.
- c) Temperatura y presión de salida del amoníaco, determinados a partir del conocimiento que el sistema de control de presión del intercambiador regula la presión en 44 psig a través de una válvula reguladora graduada, que permite el retorno del gas de amoníaco saturado hacia el sistema de recuperación.
- d) El área de transferencia de calor de los intercambiadores del sistema de agua helada, fue determinado a través del levantamiento de las características técnicas de éstos, los cuales se muestran en la tabla 50, donde sólo fue posible determinarlos en su totalidad para el enfriador 23, ya que se encontraba fuera de servicio y destapado en su parte frontal, durante el tiempo en que se realizó el estudio. Para los enfriadores 21 y 22, se tomó el número de tubos indicados en la ficha técnica del equipo y con el diámetro de la carcasa se procedió a determinar el diámetro de tubo correspondiente.

Tabla 50. Características Técnicas de los Intercambiadores de Calor del Sistema de Agua Helada

Intercambiador de Calor	21	22	23
Diámetro interno del tubo (mm)	22,3	22,3	50
Espesor de la pared del tubo (mm)	1,3	1,3	4,22
Longitud del tubo (m)	4,65	4,65	5,53
Diámetro externo del tubo (mm)	23,6	23,6	50
Espaciamiento entre tubos (centro a centro) (mm)	34,95	34,95	85,15
Disposición o arreglo de tubos	Triangular	Triangular	Triangular
Diámetro interno de la carcasa (m)	0,49	0,49	0,84
Longitud de la carcasa (m)	4,41	4,41	5,29

- e) El valor del coeficiente global de transferencia de calor para cada equipo, fue determinado simulando el funcionamiento de los mismos a partir de los datos mencionados anteriormente, por medio del programa de simulación PRO II.

De esta manera, a partir del balance de energía para intercambiadores de calor explicado anteriormente, se procedió a calcular el caudal de agua cervecera requerido para que su temperatura a la salida sea de 3 °C, donde los resultados son mostrados en la tabla 51:

Tabla 51. Caudales Óptimos de Intercambiadores de Agua Helada

Intercambiador	21	22	23
U.A (KJ/h °C)	155.097	147.012	144.035
Caudal Óptimo (m ³ /h)	30	29	28

Para determinar los nuevos caudales de agua helada de operación en los intercambiadores de placas para el enfriamiento de mosto, se utilizó el balance de energía para intercambiadores de calor, teniendo en cuenta que el calor retirado del mosto (Qm), el coeficiente global y el área de transferencia de calor (UA) son constantes, y por lo tanto la temperatura media logarítmica (ΔT_{LN}) también. Para la temperatura de 3 °C, los nuevos flujos de agua helada se muestran en la tabla 52.

Tabla 52. Caudales Óptimos de Agua Helada para los Intercambiadores de Placas

Intercambiador	Cerveza 1	Cerveza 2	Malta 1	Malta 2
U.A (KJ/h °C)	3.230.718	3.837.501	2.020.186	2.062.823
Caudal Actual (m ³ /h)	50	49	67	66
Caudal Óptimo (m ³ /h)	48	47,2	59	58

Factibilidad Técnico-Económica de las Propuestas de Ahorro: Para materializar la oportunidad de ahorro de agua se propone regular los caudales de agua cervecera en los intercambiadores de calor de amoníaco, a través de la instalación de válvulas de globo en la tubería de alimentación de cada intercambiador. Estos sustituirán las llaves de pasos actuales, permitiendo una mejor regulación de los caudales de agua cervecera en los valores óptimos determinados con el objetivo de que el agua helada alcance la temperatura de 3 °C.

A continuación se presentan los aspectos técnicos que implican la implementación de la propuesta realizada y su respectivo estudio económico.

Aspectos Técnicos:

- a) Los caudales óptimos fueron calculados con los valores del factor U.A actual para cada intercambiador. Debido a las altas caídas de presión experimentadas por estos, se sospecha que hay la presencia de incrustaciones, que al ser eliminadas aumentarían la eficiencia de transferencia de calor y los caudales requeridos podrán ser menores, considerando la demanda de agua helada.
- b) El número de intercambiadores necesarios para satisfacer los requerimientos de agua helada, sería el mismo que en la actualidad (dos en paralelo).

Estudio Económico:

Tabla 53. Inversión de Instalación. Válvulas de Globo para Intercambiadores de Amoníaco

Costos de Inversión	(Bs./Lavadora)
Instrumentos / Materiales	300.000 x 3
Instalación Mecánica	361.600 x 3
Total	1.984.800

El tiempo de retorno de la inversión es de poco más de un mes, prácticamente inmediato, lo que permite concluir que esta es una propuesta altamente rentable. Además da solución a la raíz del problema del desbalance térmico del área de estudio.

Optimización de la Eficiencia del Intercambiador de Placas de Alcohol

El intercambiador de placas que utiliza como refrigerante alcohol para el enfriamiento de mosto de malta hasta su temperatura de maduración, tiene una capacidad limitada de retirar calor.

Debido a esto, el "set point" de la temperatura de salida del mosto en el intercambiador de placas previo que opera con agua helada, está fijado dos grados por debajo (8 °C) que el utilizado para el enfriamiento de mosto de cerveza (10 °C), generando un mayor consumo de agua helada y el rebose ocasional de los tanques de agua caliente.

Dada la dificultad que conlleva la disminución de la temperatura a la que proviene el alcohol, que el flujo de éste va estar limitado a la capacidad de la bomba instalada (108 m³/h) y al perjuicio que implicaría sobre la productividad la disminución del flujo de mosto enfriado, se determinó que la única variable que se puede manipular para optimizar el enfriamiento es el área de transferencia de calor.

El potencial ahorro de agua radica en aumentar el área de transferencia de calor del intercambiador que opera con alcohol, con el objetivo de enfriar el cocimiento de malta desde 10 a -1 °C. Esto permite ajustar el "set point" de la temperatura de salida del mosto de 8 a 10 °C en el enfriador de placas que opera con agua helada, implicando la reducción del consumo del mismo y evitando el rebose de los tanques de agua caliente.

El área actual de transferencia de calor del intercambiador de placas y la capacidad de incremento, se obtuvo a partir de las dimensiones y el número de placas existentes, cuyo cálculo se estimó de la siguiente manera y se muestra en la figura 32:



Figura 32. Área de Transferencia de Calor Intercambiador de Placas de Alcohol

$$A_{act} = N \times W \times H \times 2 \quad (\text{Ec.36})$$

donde:

N: Número de placas (97, actualmente)

W: Ancho de la placa (m)

H: Alto de la placa (m)

2: Factor, una placa tiene doble área de contacto.

El coeficiente global de transferencia de calor (U), se obtuvo del balance de energía del intercambiador que opera con alcohol, utilizando los registros actuales de operación y el área de transferencia de calor estimada anteriormente.

Conociendo que el caudal de alcohol manejado por la bomba del intercambiador es de $108 \text{ m}^3/\text{h}$, se determinó la nueva área de transferencia requerida a partir del balance de energía para intercambiadores de calor. Los resultados obtenidos del sistema de ecuaciones se muestran en la tabla 54.

Tabla 54. Resultados para Nueva Configuración Intercambiador de Alcohol

Nueva Área T.C. (m^2)	Nº Placas
58	45

De esta manera, los nuevos caudales de agua helada requeridos por los intercambiadores de placas son de $57 \text{ m}^3/\text{h}$ en ambos casos, para el enfriamiento de mosto de malta hasta la temperatura de 10°C bajo las condiciones actuales que presenta el agua helada (5°C).

Factibilidad Técnico-Económica de las Propuestas de Ahorro: Para materializar la oportunidad de ahorro de agua se propone el aumento del área de transferencia de calor del intercambiador de placas que utiliza alcohol como refrigerante, a través de la incorporación de 45 nuevas placas.

A continuación se presentan los aspectos técnicos que implican la implementación de la propuesta realizada y su respectivo estudio económico.

Aspectos Técnicos:

- El caudal de alcohol está limitado por la capacidad de la bomba ($108 \text{ m}^3/\text{h}$).

- b) La nueva área de transferencia de calor se estimó con las condiciones actuales de temperatura y del caudal de alcohol.

Estudio Económico:

Tabla 55. Costos de Inversión. Nueva Configuración Intercambiador de Alcohol

Costos de Inversión	(Bs./Lavadora)
Instrumentos / Materiales	350.000 x 45
Instalación Mecánica	Personal de la planta
Total	15.750.000

El tiempo de retorno de la inversión es de un poco más de 8 meses. A pesar que es considerablemente mayor que las propuestas anteriores, no deja de ser interesante, primordialmente porque soluciona el problema del rebose de los tanques de agua caliente y disminuye el consumo de agua helada.

Capacidad de Recolección de los Tanques del Sistema de Agua Caliente

Al analizar las estrategias de control de nivel que presentan en la actualidad los tanques del sistema de agua caliente, se concluye que estas no permiten aprovechar al máximo su capacidad de almacenamiento, lo cual contribuye al rebose del agua caliente durante el enfriamiento de los cocimientos de malta.

La oportunidad de ahorro de agua radica en aumentar la capacidad de recolección de los tanques, con el objetivo de poder captar la totalidad del agua caliente generado por el enfriamiento del mosto.

Factibilidad Técnico-Económica de las Propuestas de Ahorro: Para materializar la oportunidad de ahorro de agua se propone modificar la estrategia de control de nivel de los tanques de agua caliente. A continuación se presenta los aspectos técnicos que implican la implementación de la propuesta realizada y su respectivo estudio económico.

Aspectos Técnicos:

Para la determinación de la nueva estrategia de control de nivel de los tanques de agua caliente se tienen que tener en cuenta los siguientes aspectos de operación:

- a) Con el último riego del filtro de mosto, termina prácticamente la demanda de agua caliente, quedando por enfriar entre 3 y 4 cocimientos, lo cual implica una producción de 192 m^3 de agua caliente que los tanques deben ser capaces de almacenar. De esta manera se debe mantener los niveles de los tanques 11 y 12 al 30% ($45 \text{ m}^3 \text{ c/u}$) al final del último riego.
- b) Al iniciar las actividades de cocimiento, se realizan 6 cocimientos y filtran 3, con un consumo de 243 m^3 , antes del primer enfriamiento de mosto y por ende la producción de agua caliente. Por lo que los tanques 11, 12 y 51 deben tener disponibles dicho volumen de agua caliente.

Los "set point" propuestos para control de los niveles de los tanques son:

- a) Si el nivel en los tanques 11 y 12 es mayor a 90%, y el nivel del tanque 51 es menor a 95%, activar bombas de agua hasta alcanzar un nivel del 95% de dicho tanques.
- b) Si el nivel del tanque 51 es menor a 50%, activar bombas de agua hasta conseguir nivel de 95%.
- c) Si nivel en los tanques de almacenamiento 11 y 12 es menor a 20%, introducir agua fresca de PTAB hasta conseguir un valor de 30%.
- d) En conclusión se deben modificar los siguientes set point de los tanques:
 - Tanques 11 y 12: bajo nivel 20 % y nivel alto 30%
 - Tanque 51: bajo nivel 50% y alto nivel 95%
 - Tanque hidroneumático: bajo nivel 35% y alto nivel 45%.

Estudio Económico:

Debido a que la propuesta realizada es una modificación de la estrategia de control de los niveles de los tanques, no requiere de inversión en equipos o modificaciones, solo la nueva programación de dichas estrategias de control. Sin

embargo requieren de la capacitación y seguimiento del personal responsable para garantizar el éxito de la operación.

Sistema de Lavado de Equipos de los Procesos de Fermentación, Maduración y Filtración

En el sistema de lavado de equipos de los procesos de fermentación, maduración y filtración, fue identificado el notable incremento del consumo de agua filtrada en la ejecución de los CIP de limpieza de las estaciones de CIP de Gobierno, Fermentación, Tuberías, TCC y Tinajas, además de la gran alternabilidad presentada en el orden en que los productos son filtrados, implicando la ejecución de una mayor cantidad de limpiezas, por lo cual se seleccionaron éstas como oportunidades para el ahorro de agua.

Programación de la Filtración de los Productos: La oportunidad de ahorro radica en evitar los cambios frecuentes de productos a filtrar y seguir en lo posible el orden de filtración explicado en la figura 24, de tal manera que implique realizar solamente la limpieza de los fines de semana, optimizando el consumo de agua filtrada y sin poner en peligro la calidad del producto.

Tabla 56. Oportunidades de Ahorro Programación de Filtración

Consumo Lavado Actual (m³)	Consumo Lavado Ideal (m³)	Potencial Ahorro (m³)
407	250	157
407	250	157
523	250	273
278	250	28
643	250	393
386	250	136
386	250	136
407	250	157
379	250	129

La tabla 56 se muestra el estimado del consumo de agua filtrada obtenido de realizar una sola limpieza profunda para las semanas analizadas como caso ideal y la diferencia en comparación al orden de filtración que se llevó a cabo.

Se observa que de seguir el orden de filtración de productos mencionado anteriormente, existe una oportunidad de ahorro en promedio de 175 m³/semana de agua filtrada, lo que implicaría un ahorro mensual de 700 m³.

El ahorro económico por concepto de consumo y tratamiento de efluentes se muestra en la tabla 57 y se estimó de la siguiente manera:

$$Pot.Ah = Pot.Ah_{AF} * (C_{AF} + C_{TRAT}) \quad (Ec.37)$$

donde:

Pot. Ah_{AF}: potencial ahorro de agua filtrada (m³/mes)

C_{AF}: costo del agua filtrada (Bs./m³)

Tabla 57. Ahorro Económico. Establecimiento de Orden en la Filtración de Productos

Consumo Agua	Ahorro (Bs./mes)	
	Tratamiento Efluentes	Total
866.278	42.628	908.906

Factibilidad Técnico-Económica de las Propuestas de Ahorro: Para materializar la oportunidad de ahorro de agua se propone establecer una programación de filtrado tal que el orden en que se filtre la producción comience con los productos base Ice hasta las órdenes de Solera Light, lo cual generaría la necesidad de solo realizar la limpieza de los fines de semana, sin comprometer la calidad del producto.

Este orden de la programación del filtrado traería como beneficio aparte del generado por el ahorro del consumo de agua, mejorar la productividad del sistema de filtración. Esto es teniendo en cuenta que la limpieza profunda de los equipos tiene una duración entre 4 a 6 horas, lo cual implica una disminución del tiempo de operación y una mayor cantidad de tareas a realizar por el personal operativo del área.

A continuación se presentan los aspectos técnicos que implican la implementación de la propuesta realizada y su respectivo estudio económico.

Aspectos Técnicos:

A la hora de establecer un nuevo orden de filtración de los productos, hay que tener en cuenta que la planificación de estas depende de los productos en anaquel y de la demanda del mercado, además de que la cervecera en estudio, tiene una capacidad reducida de almacenamiento en los tanques cilíndricos cónicos y de gobierno lo cual conlleva a la dificultad de filtrar la producción semanal en el orden propuesto.

Estudio Económico:

Como la propuesta solo implica establecer un orden para la filtración de los productos, no implica ningún tipo de inversión. Cabe resaltar que esta estrategia es de difícil implantación, no por los requerimientos técnicos y económicos, sino por su dependencia de los aspectos de mercadeo y comercialización de los productos.

Como puede verse, algunas de las estrategias requieren de la concertación y la gestión integral de las distintas áreas de la empresa.

Optimización del Enjuague en el Lavado de Equipos: Como se mencionó anteriormente, en la ejecución de los programas de lavados de los equipos asociados a las estaciones de CIP de Gobierno, Fermentación, Tuberías, TCC y Tinas, se ha incrementado el consumo de agua filtrada para el enjuague de los equipos.

Conociendo que anteriormente los lavados de los equipos se realizaban de manera adecuada, la oportunidad de ahorro radica en alcanzar los antiguos consumos de agua, que teniendo en cuenta los incrementos generados por la modificaciones aplicadas para la mejora de los lavado, el potencial de ahorro es de 2688 m³/mes.

El ahorro económico por concepto de consumo y tratamiento de efluentes se muestra en la tabla 58 y se estimó de la siguiente manera:

$$Pot.Ah = Pot.Ah_{AF} * (C_{AF} + C_{TRAT}) \quad (Ec.38)$$

donde:

Pot. Ah_{AF}: potencial ahorro de agua filtrada (m³/mes)

C_{AF}: costo del agua filtrada (Bs./m³)

Tabla 58. Ahorro Económico. Optimización del Enjuague en el Lavado de Equipos

Ahorro (Bs./mes)		
Consumo Agua	Tratamiento Efluentes	Total
3.326.508	163.692	3.490.200

Factibilidad Técnico-Económica de las Propuestas de Ahorro: Para materializar la oportunidad de ahorro de agua se propone mejorar la ejecución del enjuague de los equipos, a través de un estudio en detalle del funcionamiento de cada una estaciones CIP, especialmente en el control del caudal de operación de las bombas, los tiempos de ejecución de los enjuagues y volúmenes de agua requeridos para un lavado adecuado, además de detectar las causas de la repetición de los lavados de los mismos.

A continuación se presentan los aspectos técnicos que implican la implementación de la propuesta realizada y su respectivo estudio económico.

Aspectos Técnicos:

- a) Verificar el adecuado funcionamiento del software que controla la ejecución de los programas de limpieza.
- b) Verificar el funcionamiento de las bombas de agua de velocidad variable.
- c) Asegurar que los flujos y los tiempos de corrida de los pasos de lavado con las soluciones de detergentes garanticen el lavado de los equipos.
- d) Asegurar que los tiempos de enjuague y los caudales de agua manejados por los programas de limpieza garanticen las condiciones asépticas requeridas por los equipos.

Estudio Económico:

Debido a que la propuesta sólo implica la inspección de las condiciones actuales en que se están llevando a cabo los programas de limpieza de los equipos, no requiere inversión en equipos o modificaciones.

ALTERNATIVAS ADICIONALES DE PML PARA EL AHORRO DE AGUA

Aparte de las medidas para el ahorro de agua propuestas para los sistemas seleccionados, existen una serie de medidas de PML dirigidas al ahorro del consumo de agua en cervecerías, que fueron expuestas anteriormente.

La tabla 59 muestra los beneficios y limitaciones que presentan la implantación de dichas medidas de PML, dadas las condiciones de la cervecería.

Tabla 59. Beneficios y Detrimentos de Alternativas Adicionales de PML para el Ahorro de Agua

Alternativa	Beneficios	Limitaciones
Recirculación del Agua para Bombas de Vacío de Llenadoras de Botellas	- Grandes volúmenes de ahorro de agua (14.000 m ³ /mes)	- El agua suele entrar en contacto con la cerveza. Su reutilización puede poner en peligro la calidad del envasado del producto.
Sustitución de Filtros de Tierra Diatomea por Filtros de Flujo Tangencial	- Disminución del consumo de agua y efluentes por preparación y limpieza de filtros	- Altos costo de inversión - Tiempos considerables para su instalación.
Captación de Últimos Enjuagues de los CIP de Elaboración	- Ahorro de volúmenes de agua considerable (1.900 m ³ /mes)	- Dificultad de instalación de sistema de recolección. - La existencia de 8 estaciones CIP y el lavado de un número considerable de equipos por cada uno, dificulta la caracterización de efluentes. - Requiere modificar la programación de la limpieza de equipos.
Captación de Últimos Enjuagues del CIP de Llenadoras de Botellas	- Ahorro de volúmenes de agua considerable (864 m ³ /mes) - Factibilidad de instalación de sistema de recolección. - Facilidad para la caracterización de efluentes.	- Requiere modificar la programación de la limpieza de equipos - Introducción de cambios en los procedimientos de ejecución del lavado de las llenadoras

Analizando los aspectos expuestos anteriormente, se decidió llevar a cabo la medida de captación de últimos enjuagues para el CIP de llenadoras de botellas, debido a que presenta un ahorro considerable de agua, factibilidad técnica, facilidad para la caracterización de efluentes y no pone en peligro el adecuado lavado de los equipos y la calidad del producto envasado.

Características de los Sistemas y Operaciones Involucradas

Limpieza CIP Llenadoras de Botellas: La limpieza de las llenadoras de botellas se lleva a cabo por medio de una estación CIP, de características similares a las estaciones CIP de los sistemas de fermentación, maduración y filtración explicadas anteriormente.

Sistema de Agua Recuperada: El sistema de agua recuperada, que se muestra en la figura 33, recibe el agua recolectada del rebose de los tanques de agua de los túneles de pasteurización, a la cual se dosifica flocculante, se remueve la materia orgánica y sólidos suspendidos a través del paso por un filtro de arena, se baja la temperatura por medio de torres de enfriamiento y es almacenado en el tanque C.

El agua perdida se repone con agua filtrada, además del agua recolectada proveniente del agua de lluvia y de los enjuagues de los diversos filtros de la PTAB. Éstas últimas son recolectas en la tanquilla de recuperación, donde son bombeadas hacia las piletas decantadoras permaneciendo allí noventa minutos aproximadamente. El agua extraída es filtrada y enviada al tanque C de agua recuperada.

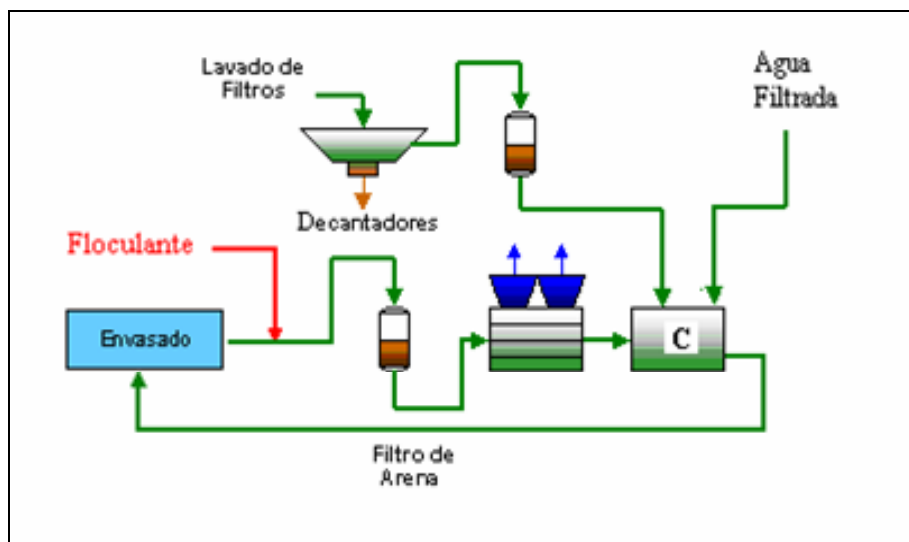


Figura 33. Sistema de Recuperación PTAB [Hoja Técnica de la Empresa]

Selección y Cuantificación de Efluentes con Potencial de Recuperación

Tipos de Limpieza de las Llenadoras de Botellas: De acuerdo al cambio de producto, tiempo de operación, inicio y finalización de jornada, se realizaran distintos tipos de programas de limpieza, donde los pasos que los comprenden se muestran en la tabla 60.

Tabla 60. Programas de Limpieza CIP Llenadoras de Botellas

Limpieza	Pasos					
CIP Largo	Agua	Detergente	Agua Caliente	Agua	Desinfección	Agua ° Plato
CIP Corto	Agua	Detergente	Agua Caliente	Agua	Agua ° Plato	
Esterilización	Agua	Agua Caliente	Agua	Agua ° Plato		
Desinfección	Desinfección	Agua ° Plato				
Enjuague	Agua Caliente	Agua ° Plato				

Se destacan los efluentes de las limpiezas que pudieran ser reutilizables, que son aquellos enjuagues donde las trazas de cerveza y de soda cáustica son mínimas.

Cabe mencionar que el agua grado plato es agua cervecera sin oxígeno para evitar cualquier posible oxidación del producto y el desinfectante es una solución a base de peróxido de hidrógeno y ácido acético, cuyo bajo pH podría presentar efectos adversos sobre las aguas recuperadas.

Volumen Aportado por Efluentes a Recuperar:

- El volumen del efluente producto del enjuague con agua se obtuvo a partir del caudal y el tiempo establecidos en el programa de limpieza.
- El volumen de solución de desinfectante, se estimó por el volumen del circuito entre las llenadoras y la estación de CIP, ya que este paso se realiza una recirculación de la solución.

- c) El volumen del efluente producto del enjuague con agua grado plato se obtuvo del caudal de circulación por la llenadoras (aprox. 40 m³/h) por el tiempo que los operadores dejan circulando el agua (aprox. 5 min.).

Frecuencia de Lavado: La cantidad y el tipo de limpieza efectuados mensualmente para cada una de las ocho llenadoras, se obtuvo a partir de los registros de las planillas de control de la limpieza de dichos equipos.

La tabla 61 muestra la frecuencia mensual de lavados y el volumen de agua con potencial de recuperación para los distintos tipos de limpieza, además del volumen total de agua con potencial de recuperación.

Tabla 61. Cuantificación de los Efluentes con Potencial de Recuperación

Nº Llenadora	CIP Largo	CIP Corto	Desinfección	Esterilización	Enjuague	Recup. (m³)
	(veces/mes) / (m³/lavado)					
2	5 / 14,3	1 / 10,8	1 / 9,2	8 / 5,8	0 / 5,8	154
3	1 / 14,3	2 / 10,8	2 / 9,2	4 / 5,8	0 / 5,8	82
4	5 / 10,6	1 / 7,1	1 / 6,4	4 / 3,3	2 / 3,3	91
5	2 / 10,6	3 / 7,1	2 / 6,4	6 / 3,3	2 / 3,3	102
6	8 / 10,6	2 / 7,1	1 / 6,4	10 / 3,3	4 / 3,3	175
7	5 / 11,6	0 / 8,1	0 / 4,6	4 / 4,6	0 / 4,6	98
8	7 / 11,6	0 / 8,1	1 / 4,6	8 / 4,6	4 / 4,6	162
					Total	864

Caracterización de Muestras Compuestas de los Efluentes

Para que los efluentes seleccionados puedan ser recuperados, el índice de Langelier del volumen total de agua aportado por éstos, tienen que estar comprendido entre el del agua filtrada de reposición al tanque C y el agua proveniente de los pasteurizadores. Las características de estas aguas se presentan en la tabla 62.

Conociendo que la estación CIP posee conductímetros en la tubería de retorno, se utilizará la variable de conductividad para definir la posibilidad de recuperación del efluente. En este caso los efluentes a recuperar serán aquellos que

presenten valores de conductividad menores a las del agua recuperada proveniente de los pasteurizadores.

Tabla 62. Características del Agua Filtrada y Recuperada

Características	Agua Filtrada	Agua Recuperada
pH	6,69	8,42
Temperatura (°C)	28	52
Conductividad (µs/cm)	387	635
Sólidos Disueltos (ppm)	161	266
Dureza (ppm CaCO ₃)	150	144
Alcalinidad (ppm CaCO ₃)	160	165
Índice Langelier	-0,52	1,42
Tipo de Agua	Moderadamente Corrosivo	Severa Incrustación

Para la toma de muestra compuesta de los efluentes se eligió el CIP largo, debido a que los últimos enjuagues son comunes a la de los demás tipos de limpieza, que de dar resultados positivos, confirmaría la oportunidad de recuperación de éstos.

La experiencia se realizada se desarrolló de la siguiente manera:

- Se procedió a tomar muestras de los efluentes cada dos minutos, desde el comienzo del paso de enjuague con agua, el paso de desinfectante y el último enjuague con agua ° plato.
- Se procedió a medir el pH y la conductividad de cada una de las muestras tomadas. Los resultados se muestra en las figuras 34 y 35.
- Para cada uno de los pasos se tomó una muestra integrada en función del tiempo. Para el enjuague de agua no se tomó en cuenta para la preparación de la muestra compuesta el primer efluente recolectado ($t = 0$ min), debido a presentar valores de conductividad por encima del agua recuperada de los paster (635 µs/cm), por la presencia de trazas de soda. Las características de la muestra compuesta para cada paso se exponen en la tabla 66.

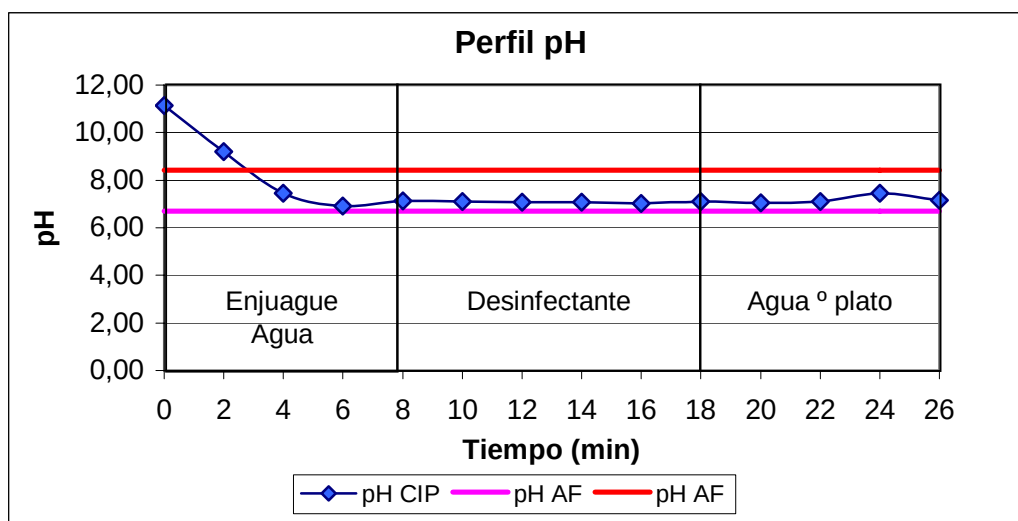


Figura 34. Perfil pH Efluentes CIP Largo

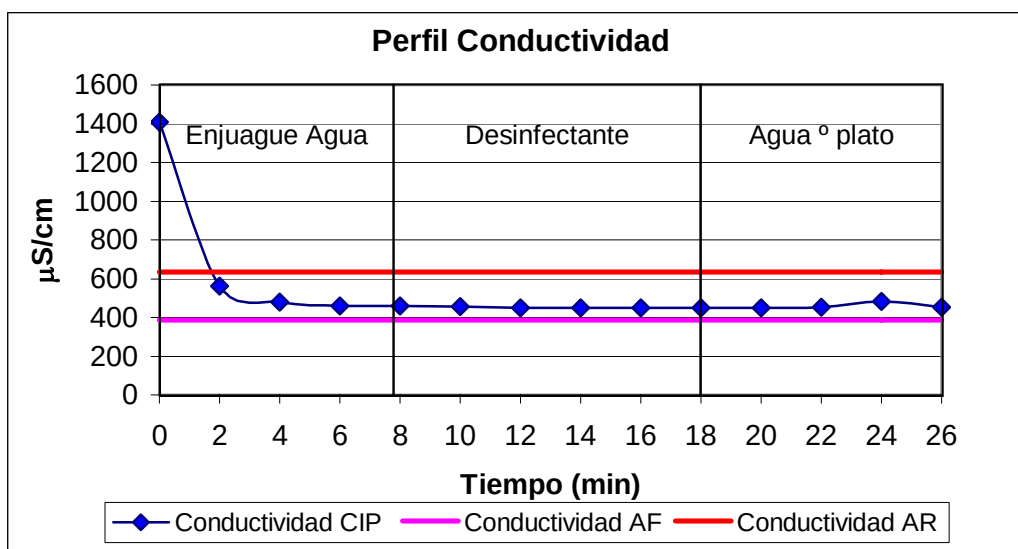


Figura 35. Perfil Conductividad Efluentes CIP Largo

- d) Se preparó la muestra compuesta en función del volumen aportado por cada uno de los pasos sobre el total de agua que se espera recuperar. Las características del agua de la muestra compuesta, el volumen aportado por cada paso y el total que se espera recuperar se muestra en la tabla 63.

Tabla 63. Características de las Muestras Compuestas

Características	Enjuague Agua	Desinfectante	Agua ° Plato	Total Efluente
pH	7,8	7,28	7,55	7,76
Temperatura (°C)	31	28	28	28
Conductividad (µs/cm)	464	453	456	455
Sólidos Disueltos (ppm)	190	190	190	190
Dureza (ppm CaCO ₃)	30	30	28	30
Alcalinidad (ppm CaCO ₃)	155	150	155	155
Volumen Aportado (m ³ /CIP)	5	3,5	5,8	14,3
% Volumen Aportado	34,9	24,5	40,6	100
Índice Langelier	-0,33	-0,9	-0,66	-0,45
Tipo de Agua	Ligera Corrosión	Fuerte Corrosión	Moderada Corrosión	Moderada Corrosión

De los resultados obtenidos, el índice de Langelier indica que los efluentes del CIP de la llenadoras de botellas a recolectar son moderadamente corrosivos. Sin embargo sus valores son aproximados al del agua filtrada que se repone al tanque "C", además que puede ayudar a neutralizar y diluir el agua que se recupera de los pasteurizadores. Por lo que el estimado de agua a recuperar es de 864 m³/mes.

Cabe destacar que la metodología utilizada no es rigurosa, ya que el índice de Langelier es función de la temperatura, por lo cual no vale determinarlo en muestras compuestas, sin embargo el resultado obtenido es una buena aproximación.

Los potenciales ahorros económicos de las propuestas realizadas se estimaron de la siguiente manera:

$$Pot.Ah = C_{AF} * Ef.Rcp \quad (Ec. 39)$$

donde:

Ef.Rcp: volumen de efluentes a recuperar (m³/mes)

En este caso no se toma en cuenta el costo del tratamiento de agua, debido a que en la actualidad dichos efluentes no están siendo tratados. El potencial ahorro por esta medida es de 1.069.632 Bs./mes.

Factibilidad Técnico - Económica de la Propuesta de Recuperación de Efluentes

Para materializar la oportunidad de ahorro de agua se propone recuperar los efluentes de los últimos enjuagues de los diversos tipos de lavados realizados a las llenadoras de botellas, desde la tubería de retorno del CIP hasta la tanquilla de recolección de la PTAB, a través de la instalación de una nueva de tubería, que se destaca por el recuadro de color azul mostrado en la figura 36.

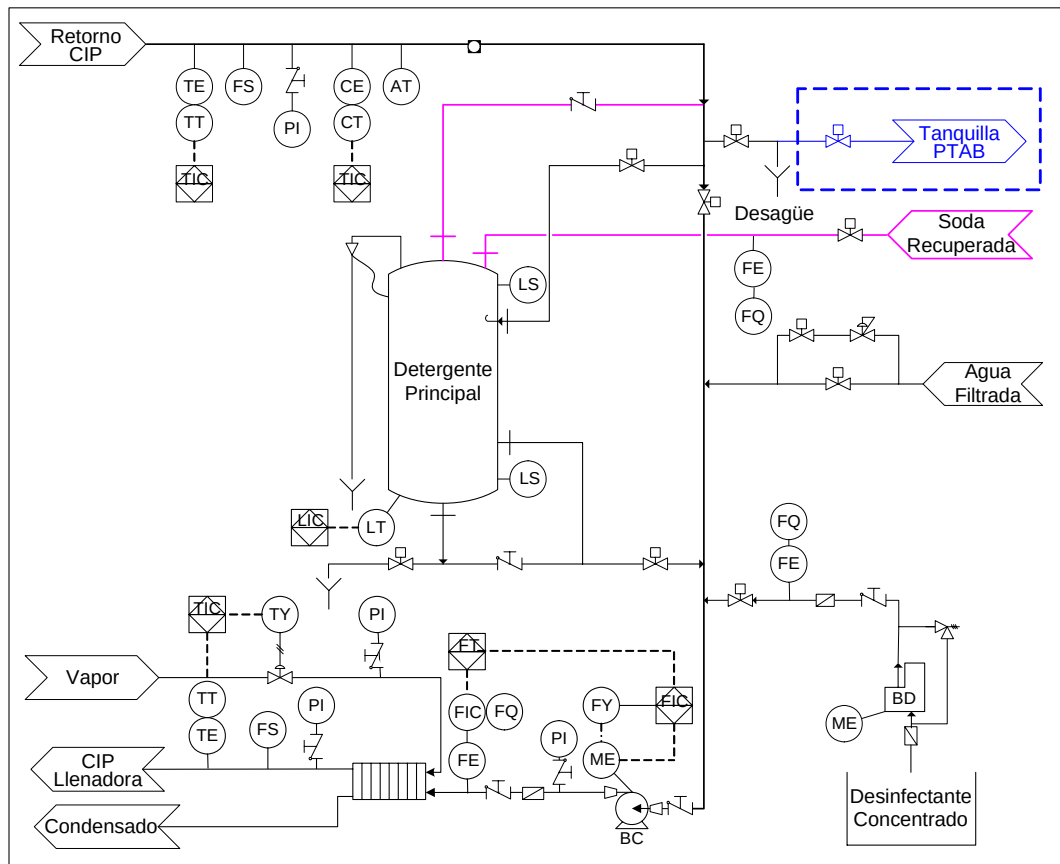


Figura 36. Propuesta Recuperación de Efluentes CIP Llenadoras de Botellas

Para la recuperación de los efluentes, se debe programar el sistema de control de lavado para establecer dicha opción, que en función de la conductividad que éstos presenten, medidos a través del conductímetro en línea ya existente, por medio de un juego de válvulas permita conducir los efluentes hacia la tanquilla de la PTAB o hacia el desagüe.

A continuación se presenta los aspectos técnicos que implican la implementación de la propuesta realizada y su respectivo estudio económico.

Aspectos Técnicos:

- a) Modificar el programa de limpieza de los equipos, que permita la recuperación de los efluentes en función de su conductividad.
- b) No se deben de desmontar los checks de los tubos de venteo después del paso del desinfectante. Dejarlos montados hasta el paso del último enjuague para que la recuperación de los efluentes sea mayor.
- c) No hay necesidad de instalar una bomba para reconducir los efluentes, con la presión de la línea es suficiente para desplazar éstos hacia la tanquilla de recolección.
- d) Durante el paso del enjuague de agua ° plato, colocar la abertura de la válvula reguladora de la llenadora de botellas en un 50%, para bajar la presión a la que viene ésta desde los tanques de agua ° plato y así pueda ser retenido dentro de la llenadora por los checks.

Estudio Económico:

Tabla 64. Costos de Inversión. Recuperación de Efluentes CIP Llenadoras de Botellas

Costos de Inversión	Bs.
Instrumentos / Materiales	1.568.901
Instalación Mecánica	3.555.525
Instalación Eléctrica	800.000
Total	5.924.426

Al realizar el estudio económico tenemos que el retorno del tiempo de inversión de 6 meses. De esta manera la propuesta es rentable, teniendo en cuenta que para su instauración no requiere de mucho tiempo ni de la parada del funcionamiento de la estación CIP. Por otro lado solo requiere de cambios en la programación de los lavados de los equipos y entrenamiento de los operadores de las llenadoras de botellas acerca del nuevo procedimiento.

La tabla 68 resume el diagnóstico de las oportunidades de ahorro de agua en los sistemas seleccionados de la cervecería en estudio, resaltando la mejora ambiental, las condicionantes y requerimientos para su implantación, además de los costos de implantación y el tiempo de retorno de inversión.

El sistema de lavado de botellas presenta más del 60 % de las oportunidades de ahorro de agua de la cervecería y 56 % con respecto a su consumo original. Las propuestas radican en reducir el consumo de agua para el enjuague de botellas y eliminar el consumo de agua durante las paradas de las lavadoras en operación.

Las oportunidades de ahorro de agua en los túneles de pasteurización pasan en la supervisión al inicio de cada jornada, del funcionamiento de los sistemas de control de temperatura y nivel de los tanques de agua, y el adecuado balance hidráulico entre los pares de bombas de los sistemas regenerativas, además de disminuir el tiempo de duración de la etapa de Mantenimiento de Temperatura durante el arranque de la línea de envasado. Este sistema constituye el 28 % de las oportunidades de ahorro de agua de la cervecería y 41 % con respecto a su consumo actual.

En tercer lugar el lavado de equipos perteneciente a los procesos de fermentación, maduración y filtración, representa más del 7 % del potencial ahorro de agua de la cervecería y un 32 % de su consumo actual. Se propone mejorar la ejecución de los enjuagues de los equipos controlados por las estaciones CIP de limpieza y establecer un orden en la filtración de los diferentes productos, tal que solo sea requerido ejecutar un lavado semanal.

En menor medida, el sistema agua helada-enfriamiento de mosto-cocimiento presenta una oportunidad de ahorro de 1.333 m³/mes de agua por el rebose de los tanques de almacenamiento de agua caliente, producto del desbalance térmico existente. Su solución pasa por regular la temperatura de salida del agua helada en lo requerido (3 °C) y ajustar los set point de los sistemas de control de nivel de los tanques de agua caliente, para incrementar la capacidad de recolección de éstos.

Por último, como medida de reutilización de efluentes, se propone recuperar 864 m³/mes de los últimos enjuagues del lavado de las llenadoras, la cual es viable desde el punto de vista técnico-económico.

Tabla 68. Potenciales de Ahorro en los Sistemas de la Cervecería

Sistema	Oportunidad de Ahorro	Propuestas	Mejora ambiental	Condicionantes y requerimientos	*Costo/ **Retorno
Lavado de Botellas	Disminuir el consumo de agua en los tanques de inmersión para enjuague de las botellas lavadas y durante paradas de las lavadoras.	Regular el consumo de agua : - Instalación de sistemas de control de temperatura. - Instalación de sistema de control On-Off y placas orificio.	Reducción del consumo de agua y generación de efluentes de 23.713 m ³ /mes (48 %)	<i>Calidad e inocuidad:</i> asegurar el lavado adecuado de las botellas <i>Riesgos Laborales:</i> no limitante <i>Aspectos Técnicos:</i> no limitante	Medio-Alto/ Corto-Largo
	Disminuir el consumo de agua en la zona de último enjuague.	Regular del consumo de agua a través de la instalación de placas orificio.	Reducción del consumo de agua y generación de efluentes de 4.005 m ³ /mes (8 %)		Medio/ Corto
Pasteurización	Disminuir el consumo de agua durante la operación.	Supervisar al inicio de cada jornada: - Funcionamiento de los sistemas de control de temperatura y nivel de los tanques de agua. - El adecuado balance hidráulico entre los pares de bombas de los sistemas regenerativas.	Reducción del consumo de agua y generación de efluentes de 6.918 m ³ /mes (22 %)	<i>Calidad e inocuidad:</i> asegurar que se cumplan las unidades de pasteurización requeridas y la calidad del agua <i>Riesgos Laborales:</i> controlar la posibilidad de contaminación del agua con <i>Legionella</i> <i>Aspecto Técnicos:</i> antigüedad de los equipos.	No requiere inversión, solo reforzar entrenamiento del personal de operación
	Eliminar consumo de agua sin operación.	-Verificar funcionamiento de sistemas de control de temperatura y nivel de los tanques de agua. - Verificar el cierre de la llave principal de suministro de agua al final de la operación.	Reducción del consumo de agua y generación de efluentes de 3.254 m ³ /mes (11 %)		
	Disminución de duración de la etapa de mantenimiento de temperatura.	Sincronizar de manera más eficiente el encendido del pasteurizador con la puesta a punto de los demás equipos de la línea de envasado.	Reducción del consumo de agua y generación de efluentes de 2.582 m ³ /mes (8 %)		

Continúa...

Tabla 68. Potenciales de Ahorro en los Sistemas de la Cervecería (Continuación)

Sistema	Oportunidad de Ahorro	Propuestas	Mejora ambiental	Condicionantes y requerimientos	*Costo/ **Retorno
Agua Helada-Enfriamiento de Mosto-Cocimiento	Eliminar reboses en los tanques de almacenamiento de agua caliente, durante el enfriamiento de malta.	Regular el caudal de agua en los enfriadores de amoníaco a través de válvulas de globo, para alcanzar la temperatura de salida del agua helada sea la requerida (3 °C).	Reducción del consumo de agua y generación de efluentes de 1.133 m ³ /mes (5 %)	<i>Calidad e inocuidad:</i> alcanzar la temperatura de fermentación del mosto <i>Riesgos Laborales:</i> no limitante <i>Aspectos Técnicos:</i> garantizar el mínimo de agua caliente requerido	Medio/Corto
		Optimizar eficiencia del enfriador de placas de alcohol, mediante el incremento del área de transferencia de calor			Alto/ Largo
		Modificar "set point" del control de nivel de los tanques de agua			No requiere inversión
Lavado de Equipos de Procesos de Fermentación, Maduración y Filtración	Optimizar el consumo de agua en la ejecución de lavados de equipos controlados por estaciones CIP de limpieza	Evaluar el funcionamiento de las estaciones CIP: control del caudal de operación de las bombas, tiempos de ejecución de los enjuagues y volúmenes de agua requeridos	Reducción del consumo de agua y generación de efluentes de 2.688 m ³ /mes (26 %)	<i>Calidad e inocuidad:</i> se debe de asegurar la limpieza adecuada <i>Riesgos Laborales:</i> no limitante <i>Aspectos Técnicos:</i> no limitante	No requiere inversión
	Evitar los cambios frecuentes de productos a filtrar que implican una mayor número de limpiezas de equipos	Establecer un orden en la filtración de los diferentes productos, que reduzcan el número de limpieza de equipos requeridos	Reducción del consumo de agua y generación de efluentes de 700 m ³ /mes (7 %)		
Estación CIP de Llenadoras de Botellas	Captación del agua de los últimos enjuagues de limpieza	En función de las características físicoquímicas de los efluentes de los últimos enjuagues de las llenadoras de botellas, reutilizarlos en el sistema de agua recuperada de la cervecería	Ahorro de 864 m ³ /mes de agua	<i>Calidad e inocuidad:</i> calidad del agua adecuada. <i>Riesgos Laborales:</i> no limitante <i>Aspectos Técnicos:</i> dificultad de instalación del sistema de captación.	Alto/Medio
* Potencial Costo: Bajo (Bs.0-400.000); Medio: (Bs.400.000-4.000.000); Alto (Bs.>4.000.000) ** Tiempo de Retorno Inversión: Corto (meses); Medio: (menos de un año); Largo (más de un año)					

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo se concluye que:

1. El registro de los consumos globales de agua en la cervecería, indican que las áreas de envasado, servicio de sala de máquina y elaboración, son las que presentan mayor inestabilidad y tendencia al alza a través del tiempo, además de registros alejados de los valores referenciales de la empresa y de cervecerías internacionales.
2. Los sistemas de las áreas en estudio que presentan mayores y variabilidad del consumo de agua en la cervecería en estudio son: lavado de botellas, pasteurización, agua helada-enfriamiento de mosto-cocimiento y lavado de equipos de los procesos de fermentación, maduración y filtración, los cuales son principalmente originados por la regulación inadecuada de caudales de operación, fallas en sistemas de control y problemas en las prácticas operacionales.
3. La mayoría de las acciones propuestas para promover el ahorro de agua en la cervecería están orientadas a actividades de supervisión, regulación y control mediante dispositivos sencillos que implican bajos costos de inversión.
4. La única propuesta con requerimientos de modificaciones mayores de equipos fue la correspondiente al ahorro en el sistema de agua helada-enfriamiento de mosto-cocimiento, donde se propuso incrementar el área de transferencia de calor del intercambiador de placas que opera con alcohol.
5. En la cervecería en estudio se determinó que la oportunidad de ahorro del consumo de agua es de 45.897 m³/mes, lo que representa un ahorro de 56.505.044 Bs./mes. Esto significa la reducción del índice general de consumo de agua de la cervecería hasta 3,99 hl agua/ hl producto envasado, lo que representa una disminución del 26,5 % con respecto al índice actual.

RECOMENDACIONES

A continuación se presenta un conjunto de acciones específicas recomendadas a la cervecería donde se realizó el caso de estudio:

1. Instalar contadores en las tuberías de suministros de agua recuperada a las lavadoras de botellas, para poder monitorear los consumos de éstas.
2. Poner en servicio el contador de agua del pasteurizador N° 3.
3. Mejorar el sistema de recuperación de agua de los pasteurizadores N° 7 y 8.
4. Tomar medidas de prevención en los intercambiadores de amoníaco con respecto a la formación de incrustaciones, deposición de aceite en el fondo de la carcasa, que generan la pérdida de eficiencia en los intercambiadores.
5. Diseñar un sistema hidroneumático para los enfriadores de amoníaco, con la finalidad de eliminar las fluctuación de la presión de la línea de agua, trayendo como consecuencia que los flujos de agua sean regulares facilitando el control de la temperatura de salida del agua helada y se evita los congelamientos presentados en los intercambiadores.
6. Estudiar el ahorro económico desde el punto de vista energético, de la disminución del consumo de agua helada.
7. Estudiar la factibilidad para la reutilización del agua de las bombas de vacío de las llenadoras de botellas.
8. Estudiar la factibilidad para la captación de los últimos enjuagues en la limpieza de los equipos de los procesos de fermentación, maduración y filtración de cerveza.
9. Suministrar a los encargados de las distintas áreas de la cervecería, los registros semanales del índice de consumo de los sistemas bajo su jurisdicción, con el objetivo de detectar con anterioridad los incrementos en los consumos de agua y facilitar la toma de medidas al respecto.
10. Implementar las propuestas de reducción del consumo de agua, realizar su seguimiento, evaluar los resultados obtenidos y asegurar la continuación del programa de ahorro de agua en la cervecería.

11. Capacitar al personal de operación de la cervecería con respecto a las mejoras en las prácticas operacionales propuestas.
12. Reforzar el entrenamiento del personal de la cervecería con respecto aquellas prácticas operacionales que impliquen un uso eficiente del agua, además de promover su interés acerca de la importancia que el ahorro del agua conlleva.
13. Difundir la realización de este estudio, por ser un trabajo pionero referente al ahorro del consumo de agua en la industria cervecera venezolana.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

- ¹ Broderick, H. (1978). **El Cervecerero en la Práctica. Un Manual para la Industria Cervecera.** 2da edición. Gráficas Sur, S.R.L. Venezuela. 24-29, 92-127, 150-161
- ² Canales, C. (2003). **Guía de Mejoras Técnicas Disponibles en España del Sector Cervecerero.** Centro de Publicaciones Ministerio de Medio Ambiente. 23-36, 52-53, 68-78. Disponible: http://www.mma.es/secciones/el_ministerio/actuaciones_publicas/pdf/IPPC.pdf [Consulta: 2006, Agosto 26]
- ³ Carlton & United Breweries (2001). **Reducing Consumption of Water and Compressed Air.** Australian Government. Departament of the Environment and Water Resources. Disponible: <http://www.environment.gov.au/settlements/industry/corporate/eecp/case-studies/carlunited.html>. [Consulta: 2007, Febrero 2]
- ⁴ Cascade Brewery Company (2003). **Using Technology Modifications to reduce energy and water use and enhance materials recycling.** Australian Government. Departament of the Environment and Water Resources. Disponible: <http://www.environment.gov.au/settlements/industry/corporate/eecp/case-studies/cascade-brewery.html> [Consulta: 2007, Febrero 2]
- ⁵ Centro de promoción de tecnologías sostenibles - CPTS (2005). **Guía Técnica General de Producción más Limpia.** 1era edición. La Paz. 21-42. Disponible: http://www.boliviaindustry.com/sia/novedades/GUIA_PML.dfp [Consulta: 2006, Agosto 26]
- ⁶ Centro de promoción de tecnologías sostenibles - CPTS (2000). **Implementación de Medidas de Producción más Limpia en las Embotelladoras Unidas EMBOL S.A.** La Paz. 1-6. Disponible: <http://www.cet.org.pe/bibliotec/proc-al-beb/6.pdf>. [Consulta: 2006, Agosto 26]

- ⁷ Cervecería Nacional S.A. (2005). **Disminución del Índice de Consumo de Agua por Hectolitro de Cerveza Producida**. Panamá. 5-8.
- ⁸ CONAM/CET-PERÚ (2005). **Guía de Producción más Limpia**. Lima. 9-28.
Disponible:<http://www.conam.gob.pe/documentos/produccionlimpia/Gu%C3%ADa%20de%20PML%20versi%C3%B2n%20final%20septiembrevMCP.pdf>
[Consulta: 2006, Diciembre 17]
- ⁹ Environmental Technology Best Practice Programme (1998). **Reducing Water and Effluent Costs in Breweries**. 1era edición. Crown Copyright. UK. 11-33.
- ¹⁰ Environmental Technology Best Practice Programme (1996). **Improved Cask Washing Plant Makes Large Savings. The Results of a Good Practise Case Study at Carlsberg-Tetley Burton Brewery**. 1era edición. Crown Copyright. UK. 1-4.
- ¹¹ Environmental Technology Best Practice Programme (1996). **Family Brewery Makes Big Water Savings. The Results of a Good Practise Case Study at J.W Less & Co (Brewers) LTD**. 1era edición. Crown Copyright. UK. 1-4
- ¹² Envirowise (2005). **Cost-effective water saving devices and practices for industrial sites**. 1era edición. Crown Copyright. UK. 13-39.
- ¹³ Felder, Richard y Rousseau, Ronald (1999). **Principios Elementales de los Procesos Químicos**. 2da edición. Addison-Wesley Iberoamericana. Mexico.578-593.
- ¹⁴ Gerencia Técnica de Aguas y Ambiente de Empresas Polar - GTAI (2004). **Valores de Calidad PTAB y PTAR**. Caracas.
- ¹⁵ Hornsey, I. (1999) . **Brewing**. 1era edición. RSC Publishing. New York. 1-2
- ¹⁶ Kunze, W. (1999). **Technology Brewing and Malting**. 2da edición. VLB Berlín. Berlín. 61-62, 69-75, 323-394, 418-432
- ¹⁷ Lane, Russell (1995).**Control de Incrustaciones y Corrosión en Instalaciones Hidráulicas de Edificios**. 1ra edición. McGraw-Hill. Mexico. 53-54.
- ¹⁸ Lewis, M. y Young, T. (2002). **Brewing**. 2da edición. Springer. New York. 57-58.

- ¹⁹ Massoud Mohamed, S. (2003). **Waste Minimization and Pollution Prevention in a Brewery & Beverage industry: A Case Study**. EWATEC. Egipto.1-8. Disponible en: <http://www.eeaa.gov.eg/English/main/Env2003/Day2/Modernization/ewatec/samia.ewatec8.pdf>. [Consulta: 2006, Diciembre 17]
- ²⁰ McCabe, Warren y Smith, Julian (1975). **Operaciones Básicas de Ingeniería Química**. 3ra edición. Reverté S.A. España. 317-322.
- ²¹ ONUDI (1996). **Cleaner Production Demonstration. Project Qiqihar Brewery, China**. 1-6. Disponible: <https://www.unido.org/NCPC/ReportTexts/NCPC00000028.pdf> [Consulta: 2006, Diciembre 17]
- ²² PNUMA/ONUDI (1994). **Informe Técnico N° 7: Manual de Auditoria y Reducción de Emisiones y Residuos Industriales**. 5-50.
- ²³ PNUMA/ORPALC (1999). **Guía de Producción más Limpia-Un Paquete de Recurso de Captación**. 1era edición. Regina de los Andes S.A. Mexico. Parte III. 1-16.
- ²⁴ Prasad, M. (1998). **Cleaner Production Audit on Beer. Production Manufacture of Food Product and Beverages # 13**. Sino-Norwegian Cleaner Production Program. 1-6. Disponible: http://www.emcentre.com/unepweb/tec_case/food_15/house/h3.htm [Consulta: 2006, Diciembre 17]
- ²⁵ <http://www.agroinformacion.com/leer-contenidos.aspx?articulo=437> [Consulta: 2007, Febrero 5]
- ²⁶ <http://www.cinu.org.mx/eventos/coferencias/johannesburgo/documentos/Agenda21/Programa21.htm> [Consulta: 2006, Diciembre 17]
- ²⁷ http://www.cinu.org.mx/temas/des_sost.htm [Consulta: 2006, Diciembre 17]
- ²⁸ http://www.cubaindustria.cu/pl/paginas/prod_limpas_sime.htm [Consulta: 2006, Diciembre 17]
- ²⁹ <http://www.tecnun.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/14PolEcSoc/140DesSost.htm> [Consulta: 2007, Febrero 5]

CAPÍTULO VII

APÉNDICES

APÉNDICE A: REGISTROS DE CONSUMO DE AGUA

Tabla 66. Registro del Consumo de Agua por Medidores

Medidor	
Fecha	Consumo (m3)

Tabla 67. Medición de Caudal y Consumo de Agua en un Proceso u Operación Unitaria

Proceso u operación unitaria	Tiempo de llenado del volumen de control (s)	Volumen de control (m³)	Caudal (m³/h)	Duración del consumo de agua diario (h)	Consumo mensual (m³/mes)

Tabla 68. Resumen del Consumo de Agua en cada Operación Unitaria por Tipo de Uso

Proceso u operación unitaria	Consumo de agua en el proceso u operación unitaria (m3/mes)	Consumo de agua en limpieza (m3/mes)	Consumo de vapor (m3/mes)	Consumo total mensual (m³/mes)

APÉNDICE B: REGISTRO DE CARÁCTERISTICAS DE EFLUENTES

Tabla 69. Características de Efluentes Líquidos

Muestra	pH	Temperatura (°C)	Conductividad (ms/cm)	Sólidos Disueltos (ppm)	Dureza (ppm CaCO₃)	Alcalinidad (ppm CaCO₃)

APÉNDICE C: DATA UTILIZADA PARA DETERMINAR BALANCE DE MASA Y ENERGÍA EN LOS PASTEURIZADORES

En las tablas 70 y 71, se presentan los datos utilizados para llevar a cabo el balance de masa y energía de los pasteurizadores nuevos, con el objetivo de determinar del consumo de vapor durante su operación.

Tabla 70. Balance de Masa y Energía del Pasteurizador N° 5

PASTER N° 5					
Agua de Entrada		Vapor Entrada		Agua Salida	
Caudal (m ³ /h)	12,2	Caudal (m ³ /h)	966,5	Caudal (m ³ /h)	9,0
Densidad (Kg/m ³)	993,7	Densidad (Kg/m ³)	2,6	Densidad (Kg/m ³)	987,7
Flujo (Kg/h)	12.123,1	Flujo (Kg/h)	2.532,2	Flujo (Kg/h)	8928,4
Temp. (°C)	28	Temp. (°C)	151	Temp. (°C)	47
Presión (Psia)	30-50	Presión (Psia)	70	Presión (Psia)	13,4
Entalpía (KJ/Kg)	126,5	Entalpía (KJ/Kg)	2.747,7	Entalpía (KJ/Kg)	209,4
Condesado Saturado		Vapor Salida		Condensado	
Caudal (m ³ /h)	2,8	Caudal (m ³ /h)	456,0	Caudal (m ³ /h)	2,4
Densidad (Kg/m ³)	921,2	Densidad (Kg/m ³)	0,5	Densidad (Kg/m ³)	960,4
Flujo (Kg/h)	2.532,2	Flujo (Kg/h)	246,4	Flujo (Kg/h)	2285,8
Temp. (°C)	149	Temp. (°C)	97	Temp. (°C)	97
Presión (Psia)	67	Presión (Psia)	13,4	Presión (Psia)	13,4
Entalpía (KJ/Kg)	626,8	Entalpía (KJ/Kg)	2671,3	Entalpía (KJ/Kg)	406,4

Tabla 71. Balance de Masa y Energía del Pasteurizador N° 6

PASTER N° 6					
Agua de Entrada		Vapor Entrada		Agua Salida	
Caudal (m ³ /h)	24,3	Caudal (m ³ /h)	966,5	Caudal (m ³ /h)	12,5
Densidad (Kg/m ³)	993,7	Densidad (Kg/m ³)	2,6	Densidad (Kg/m ³)	987,7
Flujo (Kg/h)	24146,9	Flujo (Kg/h)	2532,2	Flujo (Kg/h)	12375,3
Temp. (°C)	28,0	Temp. (°C)	151,0	Temp. (°C)	58,0
Presión (Psia)	30-50	Presión (Psia)	70,0	Presión (Psia)	13,4
Entalpía (KJ/Kg)	126,5	Entalpía (KJ/Kg)	2747,7	Entalpía (KJ/Kg)	209,3
Condesado Saturado		Vapor Salida		Condensado	
Caudal (m ³ /h)	2,7	Caudal (m ³ /h)	456,0	Caudal (m ³ /h)	2,4
Densidad (Kg/m ³)	921,2	Densidad (Kg/m ³)	0,5	Densidad (Kg/m ³)	960,4
Flujo (Kg/h)	2532,2	Flujo (Kg/h)	246,4	Flujo (Kg/h)	2285,8
Temp. (°C)	149,0	Temp. (°C)	97,0	Temp. (°C)	97,0
Presión (Psia)	67,0	Presión (Psia)	13,4	Presión (Psia)	13,4
Entalpía (KJ/Kg)	626,8	Entalpía (KJ/Kg)	2671,3	Entalpía (KJ/Kg)	406,4

APÉNDICE D: DATA UTILIZADA PARA LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR UNIDAD DE ÁREA EN LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR

La tabla 72 muestra los datos de temperatura de entrada y salida del mosto de cerveza y malta, utilizados en la determinación del coeficiente global de transferencia de calor por unidad de área (U.A) para cada uno de los intercambiadores de calor de placas, los cuales fueron tomados de los registros históricos de operación de los equipos.

Tabla 72. Registros de Temperatura de Entrada y Salida del Mosto en Intercambiadores de Placas

Intercambiador	Temp. Entrada (°C)	Temp. Salida (°C)
Cerveza 1	86	10,5
	87	10,5
	81	10,5
Malta 1	80	8
	80	8
	80	8
Cerveza 2	83	10,5
	82	10,5
	87	10,5
Malta	80	8
	80	8
	80	8
Alcohol	8	0
	8	-0,5
	8	-1

La tabla 73 muestra los datos de temperatura de entrada y salida del mosto de cerveza y malta, utilizados en la determinación del coeficiente global de transferencia de calor por unidad de área (U.A) para cada uno de los intercambiadores de calor de carcaza y tubos, los cuales fueron tomados de los registros históricos de operación de los equipos.

Tabla 73. Datos de Operación de los Intercambiadores del Sistema de Agua Helada

Equipo	Caudal (m³/h)	Temp. Entrada (°C)	Temp. Salida (°C)
Enfriador 21	24,05	27,76	3,21
	27,15	28,20	3,35
	28,14	28,17	3,57
	28,67	27,78	5,14
	28,74	28,18	4,33
	28,76	28,20	4,32
	30,00	27,61	5,51
	30,32	28,00	3,15
	30,71	27,83	3,94
	31,07	27,58	3,47
Enfriador 22	21,61	27,88	2,80
	22,59	27,66	2,81
	23,31	27,68	2,81
	23,32	27,69	2,80
	23,55	27,65	2,80
	25,22	27,70	2,88
	27,28	27,62	3,04
	30,32	28,00	3,32
	30,71	27,83	4,77
	31,39	27,62	4,64
Enfriador 23	21,12	27,88	3,96
	23,62	27,81	3,66
	25,07	27,05	4,20
	25,28	27,59	5,16
	26,87	28,04	3,37
	27,64	27,46	4,69
	29,25	28,01	4,70
	30,05	27,77	4,42
	30,54	28,03	3,19
	31,21	27,96	6,08