

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**ESCUELA DE INGENIERÍA**

**APLICACIÓN DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA AL SECTOR DE  
EMBOTELLADO DE UNA INDUSTRIA CERVECERA  
ECUATORIANA**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**WILLIAM ESTUARDO VILLACIS OÑATE**

**DIRECTOR: ING. HUGO VANDERPUTTEN**

**QUITO, MARZO 2004**

## DECLARACIÓN

Yo, William Estuardo Villacis Oñate, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

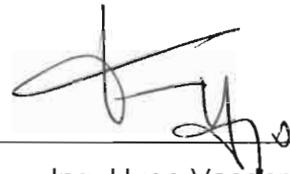


---

William Estuardo Villacis Oñate

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por William Estuardo Villacis Oñate, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Hugo Vanderputten', is written over a horizontal line.

Ing. Hugo Vanderputten  
DIRECTOR DEL PROYECTO

## **AGRADECIMIENTOS**

Para la culminación de este proyecto agradezco primero a Dios, por haberme dado las fuerzas primero en acabar mi carrera y luego porque desde que inicie a realizar dicho trabajo, me dio el ánimo y la perseverancia necesarios para vencer todos los obstáculos que se venían en el transcurso de esta tesis.

A mi padre que aunque no está conmigo, siempre siento su presencia que me da fuerza para seguir luchando en esta vida, y lograr lo que siempre anheló él desde que inicie a estudiar mi carrera.

A mi madre, hermanas, hermano y tía por estar siempre a mi lado dándome el ánimo suficiente para no decaer en ningún problema.

A mi querida Monse por siempre estar ahí con sus consejos prácticos y ayuda de una manera desinteresada y bondadosa.

A mi amigo Iván por siempre tener confianza en mí, para este logro alcanzado.

Al Ing. Hugo Vanderputten por su buena y excelente colaboración para la culminación del desarrollo de la tesis.

A todos los ingenieros de la Carrera de Ingeniería Química por transmitir sus conocimientos.

Al Ing. Manuel Tobar por escogerme y darme la oportunidad de ganar mucha experiencia a nivel industrial, también por su ayuda incondicional para lograr la terminación de esta tesis en el menor tiempo posible.

Al Ing. Pablo Ávila, Dr. Miguel Sánchez, Ing. Luis Villacis, Jessica y en general a todo el personal de Cervecería Andina S.A., por toda la ayuda brindada durante el tiempo que estuve en las instalaciones para lograr el desarrollo de la parte experimental de la tesis.

A la familia Oñate- Amaguaña, en especial a mi tío Julio por ayudarme siempre de forma desinteresada.

A la empresa J.V. INALVID y a sus propietarios al ayudarme de una forma económica a concluir mis estudios.

A mis amigos y amigas del barrio y de la universidad por brindarme su amistad y compartir bellos momentos.

## **DEDICATORIA**

### **A mis padres**

Laura Mercedes, Carlos Guillermo,  
por darme su apoyo incondicional  
para la culminación de esta meta.

### **A mi hermano y hermanas**

Juan Carlos, Janneth, María Belén  
por siempre contar con ellos.

### **A mi querida Monse**

Por siempre estar a mi lado

## CONTENIDO

RESUMEN.....	1
PRESENTACIÓN .....	3
CAPÍTULO 1.....	4
1 PARTE TEÓRICA.....	4
1.1 Fundamentos Teóricos.....	4
1.1.1 Producción más Limpia.....	4
1.1.1.1 Conceptos Principales.....	4
1.1.1.2 Elementos de Proceso para las Opciones de Producción más Limpia. 6	
1.1.1.3 Minimización de Residuos.....	8
1.1.2 Efluentes Industriales.....	9
1.1.2.1 Conceptos Generales.....	9
1.1.2.2 Índices de Calidad del Agua.....	11
1.1.3 Tratamiento de Aguas.....	13
1.1.3.1 Conceptos Fundamentales.....	13
1.1.3.2 Tipos de Tratamientos de Agua.....	16
1.1.3.3 Transporte y Almacenamiento de Líquidos.....	16
1.1.4 Normas ISO 14000.....	18
1.1.4.1 Conceptos Importantes.....	18
1.2 Descripción del Proceso de Elaboración de Cerveza de una Industria Cervecera.....	20
1.2.1 Materias Primas Utilizadas en el Proceso de Elaboración de Cerveza.....	20
1.2.2 Descripción General del Proceso de Elaboración de Cerveza.....	21
1.2.3 Descripción del Proceso de Embotellado de una Industria Cervecera.....	24
1.2.4 Diagrama de Bloques de la Línea 3 y Línea 2 del Proceso de Embotellado.....	28
1.2.5 Características Generales de una Industria Cervecera Ecuatoriana. 31	
CAPÍTULO 2.....	33
2 PARTE EXPERIMENTAL.....	33

2.1	Balance de Masa de la Línea 3 y Línea 2 del Proceso de Embotellado.	33
2.2	Consumo de Vapor de la Línea 3 y Línea 2 del Proceso de Embotellado.	35
2.3	Tiempo de Funcionamiento de las Máquinas de la Línea 3 y Línea 2 del Proceso de Embotellado.	37
2.4	Propiedades Físico-Químicas del Agua que Ingresa al Proceso de Embotellado.	37
2.5	Identificación de los Efluentes Líquidos generados en el Proceso de Embotellado.	38
2.6	Caracterización de los Efluentes Líquidos del Proceso de Embotellado.	39
2.6.1	Caracterización Física	40
2.6.1.1	pH.	40
2.6.1.2	Temperatura	41
2.6.1.3	Caudal	41
2.6.1.4	Volumen de descarga	42
2.6.2	Caracterización Química	43
2.6.2.1	Demanda Química de Oxígeno (DQO).	43
2.6.2.2	Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO <sub>5</sub> )	49
2.6.2.3	Sólidos Totales	57
2.6.2.4	Sólidos Suspendidos	58
2.6.2.5	Sólidos disueltos	60
2.6.2.6	Sólidos Sedimentables	61
2.6.2.7	Dureza Total	62
2.6.2.8	Dureza Cálcica	64
2.6.2.9	Alcalinidad Aparente y Total	66
CAPÍTULO 3		68
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	68
3.1	Resultados	68
3.1.1	Parámetros de Contaminación Principales	68
3.1.2	Parámetros de Contaminación Secundarios	68
3.2	Discusión de Resultados	73

3.3	Selección de los Efluentes Líquidos que pueden ser Recuperados en el Proceso de Embotellado. ....	92
3.4	Determinación y Diseño de los Equipos para la Recuperación y Reutilización de los Efluentes Líquidos en el Proceso de Embotellado. ....	98
3.5	Evaluación Económica. ....	110
3.5.1	Costo para el Equipo de Recuperación y Reutilización de los Efluentes Líquidos en el Proceso de Embotellado. ....	110
3.5.2	Beneficio Económico de la Empresa al realizar la Disminución de los Efluentes Líquidos en el Proceso de Embotellado. ....	111
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	114
4.1	Conclusiones.....	114
4.2	Recomendaciones.....	116
	BIBLIOGRAFÍA.....	118
	GLOSARIO.....	121
	ANEXOS.....	124

## TABLAS

Tabla 1-1	Parámetros y Concentración máxima admisible para Efluentes Líquidos de Industrias de Alimentos. ....	12
Tabla 1-2	Parámetros y Valores Permisibles de los Efluentes Líquidos generados en Bebidas Gaseosas, Embotelladoras y Cervecerías según la Ordenanza Municipal. ....	13
Tabla 2-1	Propiedades Físico-Químicas del Agua General y Agua Ablandada registradas en 3 meses del año 2002.....	38
Tabla 2-2	Efluentes Líquidos que se generan en el Proceso de Embotellado.....	38
Tabla 3-1	Parámetros de Contaminación Principales de los Efluentes Líquidos de la Línea 3 del Proceso de Embotellado.....	69
Tabla 3-2	Parámetros de Contaminación Principales de los Efluentes Líquidos de la Línea 2 del Proceso de Embotellado.....	70
Tabla 3-3	Parámetros de Contaminación Secundarios de los Efluentes Líquidos de la Línea 3 del Proceso de Embotellado.....	71
Tabla 3-4	Parámetros de Contaminación Secundarios de los Efluentes Líquidos de la Línea 2 del Proceso de Embotellado.....	72

Tabla 3-5 Resultados del Primer Criterio de Selección para los Efluentes Líquidos generados en la Línea 3.....	93
Tabla 3-6 Resultados del Segundo Criterio de Selección para los Efluentes Líquidos generados en la Línea 3 .....	94
Tabla 3-7 Resultados del Primer Criterio de Selección para los Efluentes Líquidos generados en la Línea 2.....	94
Tabla 3-8 Resultados del Segundo Criterio de Selección para los Efluentes Líquidos generados en la Línea 2 .....	94
Tabla 3-9 Efluentes Líquidos generados en el Proceso de Embotellado seleccionados para la Recuperación y Recirculación.....	95
Tabla 3-10 Dimensiones del Tanque de Recuperación de la Línea 3 .....	106
Tabla 3-11 Dimensiones de la Cisterna de Recuperación en la Línea 2 .....	106
Tabla 3-12 Sistema de Tuberías Y Bombas para la Recuperación en la Línea 3 .....	106
Tabla 3-13 Sistema de Tuberías Y Bombas para la Recuperación en la Línea 2 .....	107
Tabla 3-14 Sistema de Tuberías Y Bombas para la Reutilización en la Línea 3	107
Tabla 3-15 Sistema de Tuberías Y Bombas para la Reutilización en la Línea 2	107
Tabla 3-16 Dimensiones de las Torres de Enfriamiento para la Línea 3 y Línea 2 .....	108
Tabla 3-17 Materiales que la Empresa tiene para la Recuperación y Reutilización .....	108
Tabla 3-18 Sistema de Tuberías y Bombas que tiene que Adquirir para la Recuperación en la Línea 3.....	108
Tabla 3-19 Sistema de Tuberías y Bombas que se tiene que Adquirir para la Recuperación en la Línea 2.....	108
Tabla 3-20 Sistema de Tuberías y Bombas que se tiene que Adquirir para la Reutilización en la Línea 3.....	109
Tabla 3-21 Sistema de Tuberías y Bombas que se tiene que Adquirir para la Reutilización en la Línea 2.....	109
Tabla 3-22 Cantidad Total Tubería, Accesorios y Bombas que se necesita Adquirir en la Recuperación y Reutilización.....	109

Tabla 3-23 Costo de los Equipos Utilizados en el Sistema de Recuperación y Reutilización .....	110
Tabla 3-24 Costos Variables Adicionales durante todo el Proyecto .....	112
Tabla 3-25 Costos de Mano de Obra Adicional. ....	112
Tabla 3-26 Resultados del Análisis Económico y del Flujo de Caja Neto del Proyecto .....	113
Tabla 3-27 Análisis de Sensibilidad con respecto al Valor Actual Neto (VAN) y de la Tasa Interna de Retorno (TIR).....	113

## ECUACIONES

Ecuación 1-1 Cálculo del pH (definición antigua). ....	14
Ecuación 1-2 Cálculo de la Altura de una torre de Enfriamiento. ....	17
Ecuación 1-3 Tercera Ecuación de Bernoulli considerando las Pérdidas Friccionales y Localizadas.....	18
Ecuación 1-4 Potencia de la bomba .....	18
Ecuación 2-1 Cálculo del caudal.....	42
Ecuación 2-2 Cálculo del volumen total de descarga .....	42
Ecuación 2-3 Cálculo del valor de la DQO .....	49
Ecuación 2-4 Relación para encontrar la primera dilución en el DBO. ....	53
Ecuación 2-5 Relaciones para encontrar las otras diluciones en el DBO.....	53
Ecuación 2-6 Relación para calcular el valor de la DBO <sub>5</sub> .....	56
Ecuación 2-7 Relación para calcular la fracción volumétrica decimal de la muestra utilizada. ....	56
Ecuación 2-8 Proporción de la simiente en la muestra diluida a la del control de simiente. ....	57
Ecuación 2-9 Cálculo de los Sólidos Totales .....	58
Ecuación 2-10 Cálculo de los Sólidos Suspendidos .....	60
Ecuación 2-11 Cálculo de los Sólidos Disueltos .....	61
Ecuación 2-12 Cálculo de la Dureza Total.....	64
Ecuación 2-13 Cálculo abreviado de la Dureza Total. ....	64
Ecuación 2-14 Cálculo de la Dureza Cálctica.....	65
Ecuación 2-15 Cálculo abreviado de la Dureza Cálctica. ....	65
Ecuación 2-16 Cálculo de la Alcalinidad Aparente y Total.....	67

Ecuación 2-17 Cálculo abreviado de la Alcalinidad Aparente y Total.....	67
Ecuación 3-1 Relación para realizar el cálculo de la Carga.....	92
Ecuación 3-2 Relación para realizar el cálculo de la Carga Combinada .....	93

## GRÁFICOS

Gráfico 2-1 Curva de calibración para el DQO .....	48
Gráfico 3-1 Valor del pH de los Efluentes Líquidos de la Línea 3 del Proceso de Embotellado.....	79
Gráfico 3-2 Valor de la temperatura de los Efluentes Líquidos de la Línea 3 del Proceso de Embotellado.....	80
Gráfico 3-3 Valor del caudal de los Efluentes Líquidos de la Línea 3 del Proceso de Embotellado.....	81
Gráfico 3-4 Valor de la DBO <sub>5</sub> de los Efluentes Líquidos de la Línea 3 del Proceso de Embotellado.....	82
Gráfico 3-5 Valor de la DQO de los Efluentes Líquidos de la Línea 3 del Proceso de Embotellado.....	83
Gráfico 3-6 Valor del Índice DQO/DBO <sub>5</sub> de los Efluentes Líquidos de la Línea 3 del Proceso de Embotellado.....	84
Gráfico 3-7 Valor de los Sólidos Suspendedos de los Efluentes Líquidos de la Línea 3 del Proceso de Embotellado.....	85
Gráfico 3-8 Valor del pH de los Efluentes Líquidos de la Línea 2 del Proceso de Embotellado.....	86
Gráfico 3-9 Valor de la temperatura de los Efluentes Líquidos de la Línea 2 del Proceso de Embotellado.....	87
Gráfico 3-10 Valor del caudal de los Efluentes Líquidos de la Línea 2 del Proceso de Embotellado.....	87
Gráfico 3-11 Valor de la DBO <sub>5</sub> de los Efluentes Líquidos de la Línea 2 del Proceso de Embotellado.....	88
Gráfico 3-12 Valor de la DQO de los Efluentes Líquidos de la Línea 2 del Proceso de Embotellado.....	89
Gráfico 3-13 Valor del Índice DQO/DBO <sub>5</sub> de los Efluentes Líquidos de la Línea 2 del Proceso de Embotellado.....	90

Gráfico 3-14 Valor de los Sólidos Suspendidos de los Efluentes Líquidos de la Línea 2 del Proceso de Embotellado.....	91
Gráfico 3-15 Valor de la Carga Simple de los Efluentes Líquidos en la Línea 3 del Proceso de Embotellado.....	96
Gráfico 3-16 Valor de la Carga Combinada de los Efluentes Líquidos en la Línea 3 del Proceso de Embotellado.....	96
Gráfico 3-17 Valor de la Carga Simple de los Efluentes Líquidos en la Línea 2 del Proceso de Embotellado.....	97
Gráfico 3-18 Valor de la Carga Combinada de los Efluentes Líquidos en la Línea 2 del Proceso de Embotellado.....	98

## FIGURAS

Figura 1-1 Etapas para el Desarrollo Sostenible .....	5
Figura 1-2 Elementos de proceso para las opciones de Producción más Limpia... 7	7
Figura 1-3 Diagrama de la Sala de Cocimiento .....	21
Figura 1-4 Diagrama de la Sala de Frío.....	23
Figura 1-5 Diagrama de la Sala de Embotellado .....	24
Figura 1-6 Secuencia Práctica del Proyecto.....	27
Figura 1-7 Diagrama de Bloques de la Línea 3 del Proceso de Embotellado.....	29
Figura 1-8 Diagrama de Bloques de la Línea 2 del Proceso de Embotellado.....	30
Figura 2-1 Balance de Masa de la Línea 3 del Proceso de Embotellado .....	33
Figura 2-2 Balance de Masa de la Línea 2 del Proceso de Embotellado .....	34
Figura 2-3 Consumo de Vapor de la Línea 3 del Proceso de Embotellado .....	35
Figura 2-4 Consumo de Vapor de la Línea 2 del Proceso de Embotellado .....	36
Figura 3-1 Vistas Frontal y Posterior de la Lavadora de Cajas en la Línea 3 para la Recuperación y Reutilización.....	99
Figura 3-2 Vista Frontal de la Parte de Afuera en la Línea 3 para la Recuperación y Reutilización .....	99
Figura 3-3 Vistas Frontal del lado izquierdo y derecho de la Pasteurizadora en la Línea 3 para la Recuperación y Reutilización.....	100
Figura 3-4 Diagrama Esquemático de la Recuperación de los Efluentes .....	100
Figura 3-5 Diagrama Esquemático de la Reutilización de los Efluentes Líquidos en la Línea 3 del Proceso de Embotellado .....	101

Figura 3-6 Vista Frontal de la Pasteurizadora Lado Derecho en la Línea 2 .....	102
Figura 3-7 Vista Lateral de la Pasteurizadora Lado Derecho en la Línea 2 para la Recuperación y Reutilización .....	103
Figura 3-8 Vista Frontal de la Parte de Afuera en la Línea 2 para la Recuperación y Reutilización .....	103
Figura 3-9 Vista Frontal de la Cisterna en la Línea 2 para la Recuperación y Reutilización .....	103
Figura 3-10 Diagrama Esquemático de la Recuperación de los Efluentes .....	104
Figura 3-11 Diagrama Esquemático de la Reutilización de los Efluentes Líquidos en la Línea 2 del Proceso de Embotellado .....	105

## ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1 Efluente Líquido de la Pasteurizadora (Línea 3) (izquierda), Efluente Líquido de la Pasteurizadora (Línea 2) (Salida 4 derecha). .....	39
---	----

## ANEXOS

ANEXO 1 Condiciones que Ingresan el Agua a la Torre de Enfriamiento y Dimensionamiento de la Misma en la Línea 3. ....	124
ANEXO 2 Condiciones que Ingresan el Agua a la Torre de Enfriamiento y Dimensionamiento de la Misma en la Línea 2. ....	130
ANEXO 3 Dimensionamiento del Sistema de Recuperación y Reutilización de la LÍNEA 3 .....	136
ANEXO 4 Dimensionamiento del Sistema de Recuperación y Reutilización de la LÍNEA 2 .....	139
ANEXO 5 Seleccionamiento de las Bombas ha utilizarse con la ayuda de Catálogos. ....	140
ANEXO 6 Situación Económica debido al Condensado que se pierde. ....	141
ANEXO 7 Cantidad y Beneficio Económico de Agua Ablandada, Agua General y Agua Residual Tratada que se ahorrará al Recuperar los Efluentes Líquidos. .....	143
ANEXO 8 Parámetros Importantes de los Efluentes Líquidos del Proceso de Embotellado.....	146

ANEXO 9 Parámetros Secundarios de los Efluentes Líquidos del Proceso de Embotellado.....	151
ANEXO 10 Cálculo del Condensado Recuperado.....	156
ANEXO 11 Análisis Económico del Proyecto de Recuperación y Reutilización para Ahorro de Agua. ....	158
ANEXO 12 Procedimiento del Proceso de Operación de los Sistemas de Recuperación y Reutilización para las 2 Líneas de Producción del Proceso de Embotellado(Línea 3 y Línea 2).....	160

## RESUMEN

En el presente proyecto se realizó la aplicación de producción más limpia en el proceso de embotellado de una industria cervecera ecuatoriana en lo que se refiere a la disminución y recuperación de los efluentes líquidos posibles para lograr un ahorro de agua ablandada, agua general y agua residual tratada, tomando en cuenta el grado de contaminación que traen consigo estos efluentes líquidos.

El trabajo preliminar consistió en la realización del balance de materia y consumo de vapor del proceso de embotellado con la finalidad de determinar que clase de agua se utiliza, su caudal, así como la cantidad de vapor consumido y condensado formado en la lavadora de botellas y pasteurizadora de las líneas de producción del proceso de embotellado.

Se realizó un diagrama de flujo para cada línea de producción indicando la salida de cada uno de los efluentes líquidos que se generan en el proceso de embotellado para posteriormente determinar la composición y volumen de descarga mediante análisis físico-químicos de acuerdo a los "Métodos Ecuatorianos (INEN) o en su ausencia por los Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales, APHA, AWWA, WPCF".

Una vez conocidos los parámetros de contaminación de cada efluente líquido se escogió cuales pueden ser recuperados y reutilizados.

Se proponen 2 sistemas para la recuperación y reutilización de los efluentes líquidos escogidos, para los cuales se cuenta con un tanque de almacenamiento cuya capacidad es 3000 l y una cisterna cuya capacidad es 6230 l, 2 torres de enfriamiento, tubería y bombas necesarias.

Con el sistema propuesto de recuperación y reutilización, la empresa ahorra 132297.60 HI. /año de agua ablandada, 52228.8 HI. /año de agua general y 304703.77 HI. /año de agua residual tratada, con un beneficio económico de 10799,04 USD/año, en el cual se incluye los costos variables adicionales.

La inversión requerida para la instalación del sistema de recuperación y reutilización es 12832,36 USD, la cual se la recupera a los 1.53 años (1año 6meses 7días), siendo el valor de la tasa interna de retorno (TIR) de 64,42% y el valor actual neto (VAN) 24137,17 USD, para un tiempo de vida útil de 5 años, con lo que se puede concluir que este proyecto es factible y rentable.

## PRESENTACIÓN

Actualmente todas las industrias buscan que sus procesos sean lo más eficientes, tanto desde el punto de vista productivo como el ambiental, es por esto que buscan certificaciones como las ISO 9001 e ISO 14001, para demostrar ante los ojos de todo el proceso industrial que se puede realizar un mejor proceso sin atender al medio ambiente.

Uno de los principales efluentes que se preocupa el municipio de que se respete la Ordenanza Metropolitana substitutiva del Capítulo III del Título V del Libro Segundo del Código Municipal, son los efluentes líquidos puesto que estos son uno de los principales agentes de contaminación que traen consigo los procesos productivos en la actividad industrial.

Es por esta razón que es importante que en todas las industrias se estudien o se conozcan las características de sus efluentes, para que con ello puedan diseñar su estrategia de recuperación o de tratamiento.

Cervecería Andina S.A. en busca de mejores logros para combatir la contaminación en contra al medio ambiente, ha decidido conocer de mejor manera la composición y el grado de contaminación que generan sus efluentes principalmente líquidos que producen sus diferentes procesos; un ejemplo de esto, es este trabajo cuyo fin da a la empresa la información de cómo se encuentran los efluentes líquidos que se generan en el proceso de embotellado, así como también plantea una alternativa de una posible recuperación y reutilización de aquellos efluentes líquidos que son factibles de hacerlo.

Los resultados y las recomendaciones dadas en este trabajo serán de beneficio para la Cervecería Andina S.A., pues la realización de este proyecto tendrá como fin el ahorro tanto de la cantidad de agua ablandada, agua general y agua residual tratada.

# CAPÍTULO 1

## 1 PARTE TEÓRICA

### 1.1 Fundamentos Teóricos.

#### 1.1.1 Producción más Limpia.

##### 1.1.1.1 Conceptos Principales.

###### Introducción

Al pasar el tiempo, se ha tomado conciencia, de la presión que ejerce la contaminación sobre nuestros recursos naturales y nuestra salud. Los métodos tradicionales para manejar tal volumen de desechos no siempre tienen éxito y la consecuente contaminación del agua y la tierra ha contribuido para que se presione más a la industria y a la población en general para mejorar la situación.

(1)

Para las aguas residuales y las emisiones de las fábricas, la situación es muy parecida, ya que cada vez son más los impactos ambientales que se consideran como inaceptables. (1)

Actualmente, con el fin de escapar de esta encrucijada, las autoridades y la industria están tratando de encontrar, de la manera más seria, la forma de evitar totalmente la producción de desechos.

Los ecologistas apoyan la idea de que las emisiones, las aguas residuales y otros residuos, aparte de ser contaminante, son un recurso no aprovechable.

###### **Definición de Producción más Limpia.**

La Producción más Limpia es la antítesis del antiguo enfoque del tratamiento de residuos al final del proceso, esto es un costo que no se va a recuperar nunca (gasto no recuperable). (3)

La Producción más Limpia es la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva, integrada por los procesos y los productos, con el fin de reducir los riesgos al ser humano y al medio ambiente.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

Para los procesos de producción, la Producción más Limpia incluye la conservación de la materia prima y la energía, la disposición de materiales tóxicos o peligrosos y la reducción de las emisiones y los desechos en la fuente.

Para los productos, la estrategia se enfoca a reducir los impactos a lo largo de todo el ciclo de vida de los artículos producidos, desde su creación, pasando por su utilización y hasta su disposición final. (1)

Hace referencia a una mentalidad que enfatiza la producción de nuestros bienes y servicios con el mínimo impacto ambiental, bajo la tecnología actual y límites económicos.

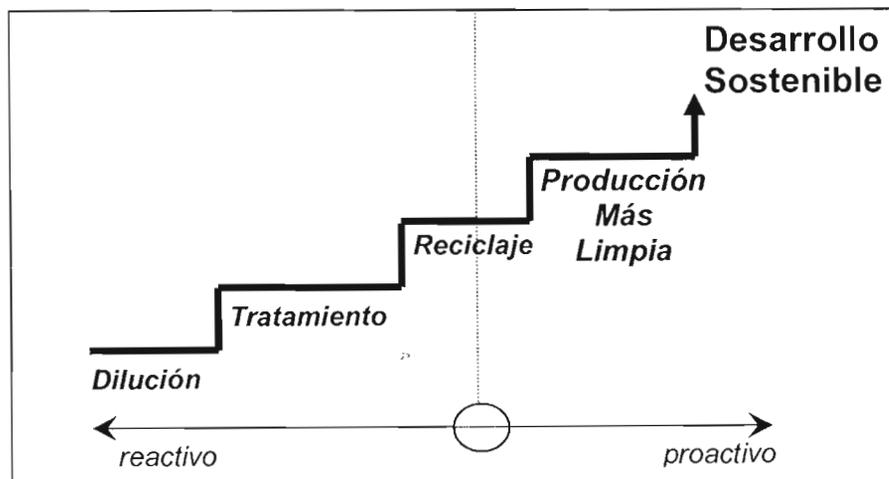
La Producción más Limpia, se conoce como un enfoque importante para guiar los desarrollos industriales hacia un desarrollo sostenible.

### **Desarrollo Sostenible.**

Desarrollo sostenible es el desarrollo que mejora la calidad de vida de los pueblos y las naciones sin comprometer la de las futuras generaciones. (1)

En este diagrama se muestra los diferentes enfoques a los problemas ambientales que se han adoptado para estrategias nacionales; la Producción más Limpia indica un enfoque preventivo, lo cual es un requerimiento para el desarrollo sostenible.

El reciclaje puede ser reactivo o proactivo. Conforme a las definiciones de Producción más Limpia, solo el reciclaje en el sitio es visto como proactivo.



**Figura 1-1 Etapas para el Desarrollo Sostenible**

### **Importancia de la Producción más Limpia. (1)**

La Producción más Limpia sirve primeramente para lograr un nivel más bajo de contaminación y de riesgos ambientales, además que resulta una buena propuesta económica, debido a que si se usa más eficientemente los materiales y se optimiza los procesos da como resultado menos desechos y costos de operación más bajos.

A nivel de planeación, los especialistas ambientales han desarrollado técnicas que se han vuelto comunes en muchos países; estas técnicas incluyen:

- Evaluación del impacto ambiental.
- Evaluación y control de riesgos.
- Auditorias ambientales.
- Sistemas de control como:
  - Cuidado de Calidad.
  - Cuidado Ambiental.
  - Cuidado Responsable.
  - Gestión de Calidad Total también se consideran herramientas de gestión ambiental a nivel de planeación.

Este esfuerzo por alcanzar mejoras continuas, es una característica del concepto de Producción más Limpia y de cualquier Sistema de Gestión, siempre que se aplique correctamente.

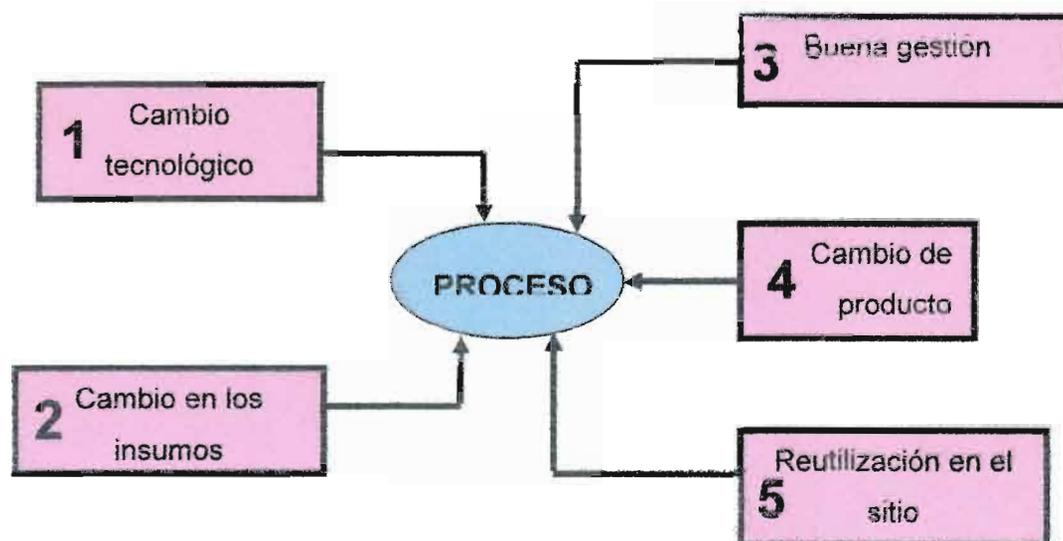
#### **1.1.1.2 Elementos de Proceso para las Opciones de Producción más Limpia.**

En la figura 1-2, se muestra los elementos de proceso para las opciones de Producción más Limpia y estas son:

##### **Cambio en los Insumos.**

La Producción más Limpia se logra realizando cambios en los insumos, reduciendo o eliminando los materiales peligrosos que ingresan en el proceso de producción. Los cambios de insumos incluyen:

- ❖ Purificación del material.
- ❖ Sustitución del material.



**Figura 1-2 Elementos de proceso para las opciones de Producción más Limpia**

### **Cambio Tecnológico.**

Estos cambios están orientados hacia las modificaciones de proceso y equipo para reducir desechos, principalmente en una línea de producción.

Estos incluyen lo siguiente:

- ❖ Cambios en el proceso de producción.
- ❖ Disposición del equipo o cambios en las tuberías.
- ❖ Uso de automatización.
- ❖ Cambios en las condiciones de procesamiento: tales como la cantidad de flujo, temperaturas, presiones y tiempo de residencia.

### **Buena Gestión.**

La buena gestión incluye procedimientos que puede utilizar una empresa para minimizar desechos. Muchas de éstas se utilizan en la industria, para mejorar la eficiencia y como buenas prácticas de manejo.

Para tener una buena gestión en los diferentes procesos, hay que capacitar a la gente encargada.

### **Cambios en producto.**

Los cambios en producto se realizan por el fabricante del mismo con la intención de reducir los desechos que se den como resultado de la utilización de un producto.

Los cambios de producto incluyen:

- La sustitución del producto.
- Conservación del producto.
- Cambios en la composición del producto.

### **Reutilización en el sitio.**

El reciclaje y/o la reutilización involucran el regreso del material de desecho, ya sea proceso de origen como insumo sustituido o para otro proceso como insumo.

#### **1.1.1.3 Minimización de Residuos.**

La minimización de residuos es el proceso de reducir o eliminar la generación de cualquier residuo sólido, líquido o gaseoso antes de que el material sea tratado, almacenado o dispuesto. (2)

Estas técnicas se enfocan ya sea en cualquier reducción del origen o en la recuperación y el reciclado como un medio para disminuir el volumen y/o la toxicidad de las corrientes de residuos.

Con la ayuda de esta definición se puede decir que en orden de prioridad la minimización de residuos incluye:

- El uso de materia, (procesos), o prácticas que disminuyen o eliminan la creación de contaminantes o residuos en la fuente de origen.
- Reciclaje/reutilización/recuperación.
- (Tratamiento).

Se le da poco énfasis a los cambios de proceso y tratamiento.

#### **Técnicas comunes para la Minimización de Residuos. (2)**

Se deben desarrollar, diseñar y operar los procesos con la mentalidad y los principios de hacerlo bien la primera vez y de cero descargas. Se debe intentar maximizar el rendimiento y eliminar la generación de todos los subproductos y residuos.

A continuación se da una numeración de las técnicas comunes para lograr una reducción de los residuos:

- ❖ Calidad de las Materias Primas y Mejoramiento en el Rendimiento del Proceso.

- ❖ Substitución/Eliminación de los Materiales Peligrosos.
- ❖ Optimización de las Condiciones de Procesamiento.
- ❖ Maquinaria/Equipo Adecuado (Desembotellamiento).
- ❖ Nueva Tecnología de Procesamiento.
- ❖ Mejoramiento del Mantenimiento, Manejo de Materiales y Almacenamiento.
- ❖ Control y Programación del Inventario.
- ❖ Empacado – Materias Primas y Producto Terminado.
- ❖ Segregación de Corrientes de Residuos.
- ❖ Reciclado y Recuperación.
- ❖ Venta de los Materiales Recuperados y los Subproductos.
- ❖ Desintoxicación de Residuos.

### 1.1.2 Efluentes Industriales.

#### 1.1.2.1 Conceptos Generales.

La industria genera desechos según su actividad y pueden ser:

##### **Desechos Sólidos. (11)**

Estos desechos están constituidos de variados residuos, así mismo dependiendo del tipo de industria. Pueden ser de naturaleza:

- Química
- Biológica
- Inflamable
- Explosiva
- Orgánica
- Inorgánica
- Radioactiva.

Estos desechos tienen que tener un manejo especial tanto en acondicionamiento, recolección, transporte, como en el destino final.

##### **Desechos Gaseosos. (11)**

Las principales fuentes de contaminación de efluentes gaseosos, se puede mencionar los siguientes:

- Combustión de hidrocarburos para generar energía térmica.

- Incineración de desechos sólidos.
- Industrias químicas.
- Fundición de metales.
- Material particulado.
- Sustancias volátiles responsables de la contaminación por olor.

### **Desechos Líquidos.**

Las aguas residuales industriales presentan una enorme variación de tipos, características y composiciones, constituyéndose cada una de ellas en un caso particular, por lo que tanto sus determinaciones analíticas como sus procesos de tratamiento presentan un gran desafío para la ingeniería ambiental. (11)

Los desechos líquidos se pueden generar por:

- Aseo.
- Refrigeración.
- Proceso.
- Pérdidas.
- Derrames.

La calidad de las aguas residuales y la concentración de sus contaminantes varían dentro de amplios límites, dependiendo del propio proceso industrial.

Es indispensable una adecuada caracterización de las aguas residuales, tanto en lo referente a producción como a sus constituyentes.

### **Características de las Aguas Residuales. (11)**

Para conocer y evaluar el poder contaminante de los efluentes líquidos industriales, se utilizan varios parámetros que indican en cierto modo la manera de afección al medio ambiente.

Según el tipo de efluente que se analice es necesario hacer metales pesados o no.

Para diseño de plantas de tratamiento es requisito analizar la gran mayoría de los parámetros de contaminación.

Para controles rutinarios, en aguas residuales es suficiente conocer los siguientes parámetros:

- ❖ Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).

- ❖ Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- ❖ Sólidos en suspensión.
- ❖ Sólidos sedimentables.
- ❖ pH.
- ❖ Caudal.
- ❖ Temperatura.

Para tener una buena y verdadera caracterización, debe realizarse una adecuada planificación tanto del muestreo como de los análisis, no hay que descuidar de las posibles interferencias que podrían producirse entre componentes de la muestra.

La bibliografía presenta datos sobre las características de las aguas residuales de casi todas las industrias, sin embargo hay la necesidad de tener las características propias del efluente que se pretende realizar su evaluación del impacto y su control.

#### **1.1.2.2 Índices de Calidad del Agua.**

Para que la reutilización sea segura desde el punto de vista sanitario y ambiental, es importante que el agua residual se depure hasta que reúna las características de calidad apropiadas a su nuevo uso. Es por lo cual resulta imprescindible definir los niveles de calidad adecuados para cada uno de los posibles usos del agua.  
(15)

Cuando se requiere el agua para uso industrial, el agua residual no requiere de purificación, para industrias que requieren alta calidad de agua para operación se debe dar una purificación menor, no requiere tratamiento para la mayoría de industrias de operación normal.

Existen legislaciones que incluyen límites para muchos (cientos) posibles contaminantes, pero para las industrias de alimentos, en donde los principales contaminantes serán compuestos orgánicos solubles, podemos limitar nuestro interés a los siguientes parámetros que se muestran en la tabla 1-1.

**Tabla 1-1 Parámetros y Concentración máxima admisible para Efluentes Líquidos de Industrias de Alimentos.**

Parámetro	Concentración máxima admisible		Unidad
	<i>Normas Nestlé</i>	<i>Ordenanza 2910</i>	
DBO <sub>5</sub>	15	Remoción > 80%	mgO <sub>2</sub> /l
Sól. sedimentables	0.3	10	ml/l
Oxígeno disuelto	0.2-0.5	-	mgO <sub>2</sub> /l
pH	6.5-8.5	5-9	
Temperatura	< T°amb. +10	< 35	°C

Actualmente según la Ordenanza Municipal para "la prevención y control de la contaminación producida por las descargas líquidas de fuentes fijas", muestra los siguientes parámetros de control y valores permisibles de los efluentes líquidos que se generan en el proceso de bebidas gaseosas, embotelladoras y cervecerías, los mismos que se observan en la tabla 1-2.

**Tabla 1-2 Parámetros y Valores Permisibles de los Efluentes Líquidos generados en Bebidas Gaseosas, Embotelladoras y Cervecerías según la Ordenanza Municipal.**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>EXPRESADO COMO</b>	<b>VALOR MÁXIMO PERMISIBLE AL ALCANTARILLADO PÚBLICO</b>	<b>VALOR MÁXIMO PERMISIBLE A UN CAUSE DE AGUA</b>
Potencial hidrógeno	pH	5 - 9	5 - 9
Temperatura	°C	40	35
Sól. sedimentables	ml/l	10	10
Material flotante	No aplicable	No aplicable	Ausencia
Sustancias solubles en hexano	mg/l	50	No aplicable
Grasa y aceites	mg/l	No aplicable	50
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO <sub>5</sub>	mg/l	375	350
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/l	750	675
Sól. suspendidos	mg/l	300	275
Caudal	l/s	26.5	26.5
Carga combinada	Kg. /día	1832	

### **1.1.3 Tratamiento de Aguas.**

#### **1.1.3.1 Conceptos Fundamentales.**

##### **Análisis de Aguas Residuales. (9)**

Generalmente, las aguas de desecho contienen un cierto número de iones; la composición depende del tipo de operaciones industriales a través de las cuales ha pasado el agua hasta convertirse en desecho.

**Medidas de pH. (9)**

El pH expresa el grado de acidez efectiva o alcalinidad efectiva de una solución. Como una definición se puede decir que el pH es el logaritmo negativo de la concentración de hidrógeno.

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

**Ecuación 1-1 Cálculo del pH (definición antigua).**

Donde:  $[\text{H}^+]$  = moles / litro (Molaridad).

**Materia Sólida (Sólidos). (9)**

La gran mayoría de las aguas presentan los siguientes sólidos:

**Sólidos Totales.**

Es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a temperatura definida.

**Sólidos Suspendidos.**

Es la porción de sólidos totales retenida en un filtro. El límite más bajo de remoción es 0.4  $\mu\text{m}$  en forma normal.

**Sólidos Disueltos.**

Es la porción de sólidos totales que atravieza el filtro. Por debajo de 1 nm, las partículas son consideradas como sólidos disueltos.

**Sólidos Sedimentables.**

Es la porción de sólidos suspendidos que son grandes y pesados, y se los determina en un período determinado.

**Demanda Química de Oxígeno (DQO). (9)**

Es la medida de la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación química de la materia orgánica que es susceptible a oxidación por oxidantes químicos fuertes.

Se puede decir que la DQO mide la capacidad de una solución de ácido crómico caliente de oxidar a la materia orgánica. Esta analiza tanto la materia orgánica biodegradable como la que no lo es (refractaria). Expresada como  $O_2^2$ .

### **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). (9)**

Es la cantidad medida de oxígeno requerida por los microorganismos aclimatados para degradar básicamente la materia orgánica en el agua servida. La DBO es el más importante en el control del agua. La DBO mide la capacidad de las bacterias comunes para digerir la materia orgánica, generalmente en un periodo de incubación de 5 días a 20°C, analizando la disminución de oxígeno. Esta mide la materia orgánica biodegradable. Expresada como  $O_2^3$ .

#### Por qué $DBO_5$ ?

La prueba de la DBO puede ser realizado a cualquier tiempo de incubación, por ejemplo se puede limitar a 20 días, como período de incubación, que tal vez haya consumido el 90% del oxígeno inicial. Aún este período es demasiado grande para hacer medidas de DBO usuales y es así que 5 días ha sido considerado como estándar para las pruebas de DBO, lo cual se designa como  $DBO_5$  a 20°C. Después de 5 días a 10 días pueden comenzar a oxidar los compuestos nitrogenados. Por esto se debe inhibir en la determinación de la  $DBO_5$  este efecto por adición de compuestos químicos adecuados.

### **Oxígeno Disuelto (OD). (9)**

El oxígeno disuelto es el factor que determina la existencia de condiciones aerobias o anaerobias en un medio particular. La determinación de oxígeno disuelto en el agua, sirve como base para cuantificar la DBO, aerobiosidad de los procesos de tratamiento, tazas de aireación en los procesos de tratamiento aeróbico y grado de polución de los ríos<sup>4</sup>. (4)

---

<sup>2</sup> NALCO, Manual del Agua, Su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones.

<sup>3</sup> NALCO, Manual del Agua, Su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones.

<sup>4</sup> APHA, AWWA, WPCF, Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales

## **Temperatura.**

La importancia de la temperatura radica en que el grado de saturación de oxígeno disuelto, la actividad biológica y el grado de saturación de carbonato de calcio en el agua están íntimamente relacionados con éste parámetro. (4)

### **1.1.3.2 Tipos de Tratamientos de Agua.**

A continuación realizamos una enumeración de algunas tecnologías aplicables al tratamiento de aguas de desecho industrial, procurando mencionar las más comunes (10):

- ❖ Tratamiento Biológico.
- ❖ Adsorción en Carbón.
- ❖ Separación por Centrifugación.
- ❖ Oxidación Química.
- ❖ Cristalización.
- ❖ Electrodialisis.
- ❖ Evaporación.
- ❖ Filtración.
- ❖ Flotación.
- ❖ Separación por Gravedad.
- ❖ Intercambio Iónico.

### **1.1.3.3 Transporte y Almacenamiento de Líquidos.**

#### **Torres de Enfriamiento. (5)**

Los requerimientos de las plantas son enormes para enfriar el agua y así poder recircular. Se pone en contacto el agua con el aire que tiene una temperatura de bulbo húmedo menor que la temperatura del agua, entonces el agua se evapora, en cambio el aire se humidifica y se calienta, se puede llegar a temperaturas inferiores a la del aire, si se va al límite de esta temperatura se puede lograr el enfriamiento del agua.

Se puede pensar que el límite es la temperatura de bulbo húmedo a la entrada; el enfriamiento será más intenso si hay más aire seco.

Para encontrar la altura adecuada de una torre de enfriamiento se utiliza la siguiente relación:

$$z_T = \frac{G}{K_y a} * \int_1^2 \frac{dH_g}{H^* - H_g}$$

$$Z_T = H_o * N_o$$

### **Ecuación 1-2 Cálculo de la Altura de una torre de Enfriamiento.**

Donde:

$z_T$  = Altura total de la torre de enfriamiento.

$H_o$  = Altura de unidad de transferencia.

$N_o$  = Número de unidad de transferencia.

### **Bombeo de Líquidos.**

Los medios comúnmente empleados para lograr flujo en fluidos son: gravedad, desplazamiento, fuerza centrífuga, fuerza electromagnética, transferencia de cantidad de movimiento, impulso mecánico, o combinaciones de estos seis medios básicos. Después de la gravedad, el medio más empleado actualmente es la fuerza centrífuga.

#### ***Criterios para la Selección de Bombas***

- Conocer la cantidad del líquido a bombearse, es la que fija el tamaño de la bomba.
- Altura de bombeo (HB), esto es en el balance de energía, depende de la altura física.
- Propiedades del líquido; son fundamentales especialmente la viscosidad (pérdidas friccionales), o puede ser un líquido liviano no muy viscoso.
- Suministro de potencia; se tienen que ver que unidad motriz va a accionar o mover la bomba (motor eléctrico, turbina, combustión interna).
- Costo (eficiencia); toda bomba con una eficiencia alta es muy costosa.

#### **Potencia de una Bomba**

Para saber la potencia de una bomba hay que obtener primero la altura que va a comunicar la bomba, esta altura se la obtiene de la tercera ecuación de Bernoulli.

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{v_A^2}{2g} + z_A + HB = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{v_B^2}{2g} + z_B + hf_{fricción} + hf_{localizadas}$$

$$HB = (z_B - z_A) + hf_{fricción} + hf_{localizadas}$$

### **Ecuación 1-3 Tercera Ecuación de Bernoulli considerando las Pérdidas Friccionales y Localizadas**

Donde: HB = Altura comunicada por la bomba (m).

A través del valor de HB se calcula la potencia de la bomba.

$$\text{Potencia} = HB * q * \gamma$$

### **Ecuación 1-4 Potencia de la bomba**

Donde: HB = Altura comunicada por la bomba (m).

q = Caudal o descarga (m<sup>3</sup>/seg).

$\gamma$  = peso específico del fluido (Kg. fuerza / m<sup>3</sup>).

Este hf representa las pérdidas friccionales y las pérdidas menores, que constituyen la energía perdida por unidad de peso para todos los puntos comprendidos entre los puntos analizados en el balance de energía.

Las pérdidas friccionales se las obtiene utilizando el número de Reynolds y el diagrama de Moody.

Las pérdidas localizadas se presentan siempre que la velocidad del fluido varía en dirección o magnitud (codo, válvula), los cuales distorsionan al flujo causando otras pérdidas a más de las que se produce en las caídas de presión.

#### **1.1.4 Normas ISO 14000.**

##### **1.1.4.1 Conceptos Importantes.**

El objetivo de las normas ISO 14000 es fomentar la protección ambiental y evitar la contaminación, en concordancia con los requisitos del entorno socio-económico de la organización. (3)

##### **Requerimientos generales.**

El sistema debería permitirle a una organización:

- Establecer una política ambiental apropiada.

- Identificar los aspectos ambientales significativos que surjan de las actividades, productos o servicios pasados, existentes o planeados por la organización.
- Identificar los requisitos legislativos y reglamentarios aplicables.
- Identificar prioridades y establecer los objetivos y metas ambientales apropiadas.
- Facilitar actividades de planeación, control, supervisión, acción correctiva, auditoría y revisión para asegurar que la política se cumpla.
- Ser capaz de adaptarse a las circunstancias cambiantes.

### **Política Ambiental.**

Esta política debe definir la alta gerencia y tiene que asegurar que:

- Sea adecuada a la naturaleza, escala e impactos ambientales de sus actividades, productos o servicios.
- Incluya un compromiso para la mejora continua y la prevención de la contaminación ambiental.
- Incluya un compromiso para cumplir con la legislación y regulaciones ambientales aplicables y otros requerimientos y reglamentos, a los que la organización se comprometa.
- Constituya un marco para establecer y revisar los objetivos y metas ambientales.
- Esté documentada, implementada, se mantenga y se comunique a todos los empleados.
- Esté disponible al público.

### **Aspectos Ambientales.**

El aspecto ambiental es un elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que puede interactuar con el ambiente.

### **Objetivos y Metas Ambientales.**

La organización debe documentar sus objetivos y metas ambientales.

#### ***Objetivos.-***

Los fines generales que, basados en la política ambiental y en la evaluación de los aspectos ambientales y cuantificados siempre que sea posible, la organización pretende alcanzar.

**Metas.-**

Requisitos detallados de actuación, cuantificados siempre que sea posible, aplicados a la organización o parte de ésta, que tiene su origen en los objetivos ambientales y se deben cumplir para alcanzar dichos objetivos.

**1.2 Descripción del Proceso de Elaboración de Cerveza de una Industria Cervecera.****1.2.1 Materias Primas Utilizadas en el Proceso de Elaboración de Cerveza.****Materia prima.**

La materia prima que se utiliza para la elaboración de la cerveza es la siguiente:

**Malta.**

Es la cebada semigerminada, secada y tostada, que es fuente de carbohidratos y enzimas. Es el principal componente de la cerveza tanto por sus características físico-químicas y organolépticas, por tener un alto contenido de enzimas amilolíticas y proteolíticas. A esta se le realiza un control de humedad, prueba organoléptica (visual) y se le hace una clasificación de tamaño del grano.

**Adjuntos Cerveceros**

Se pueden usar como adjuntos el arrozillo, maíz y azúcar. Estos adjuntos constituyen una fuente de carbohidratos pero no son una fuente de enzimas.

**Lúpulo (*Humulus Lupulus*)**

Es una planta trepadora, dioica (flores masculinas y femeninas en plantas separadas). La planta femenina forma flores compuestas o conos llamados estróbilos, cada cono puede contener hasta 50 flores. El lúpulo se utiliza en la cerveza por:

- Impartir amargo agradable a la cerveza.
- Tiene aroma agradable.
- Ayuda a la coagulación de las proteínas.
- Tiene ligera acción antiséptica (ayuda a la estabilidad biológica de la cerveza).
- Contribuye con sustancias resinosas que ayudan a estabilizar la espuma de la cerveza.

## Agua

El agua es el componente del 80 al 90% de la cerveza. Para la fabricación de la cerveza el agua no sólo debe satisfacer los requerimientos generales del agua potable (bacteriológicamente pura) sino que debe también cumplir con algunos requisitos físico-químicos. El agua define el tipo de cerveza que produce.

## Levadura

Es un microorganismo vegetal unicelular, que pertenece a la familia ASCOMICETOS, en cervecería se utiliza una variedad del género SACCHAROMYCES, de la clase UVARUM o CARLSBERGENCIS. La levadura tiene enzimas y coenzimas, que efectúan numerosas transformaciones a muy diferentes tipos de sustancias, pero la transformación principal es la de la glucosa que pasa como productos finales a alcohol y CO<sub>2</sub>.

La levadura no es una materia prima, puesto que no se queda como parte del producto, sin embargo este microorganismo es el responsable de transformar el mosto en cerveza.

### 1.2.2 Descripción General del Proceso de Elaboración de Cerveza.

#### Fase I. Elaboración del Mosto (Sala De Cocimiento).

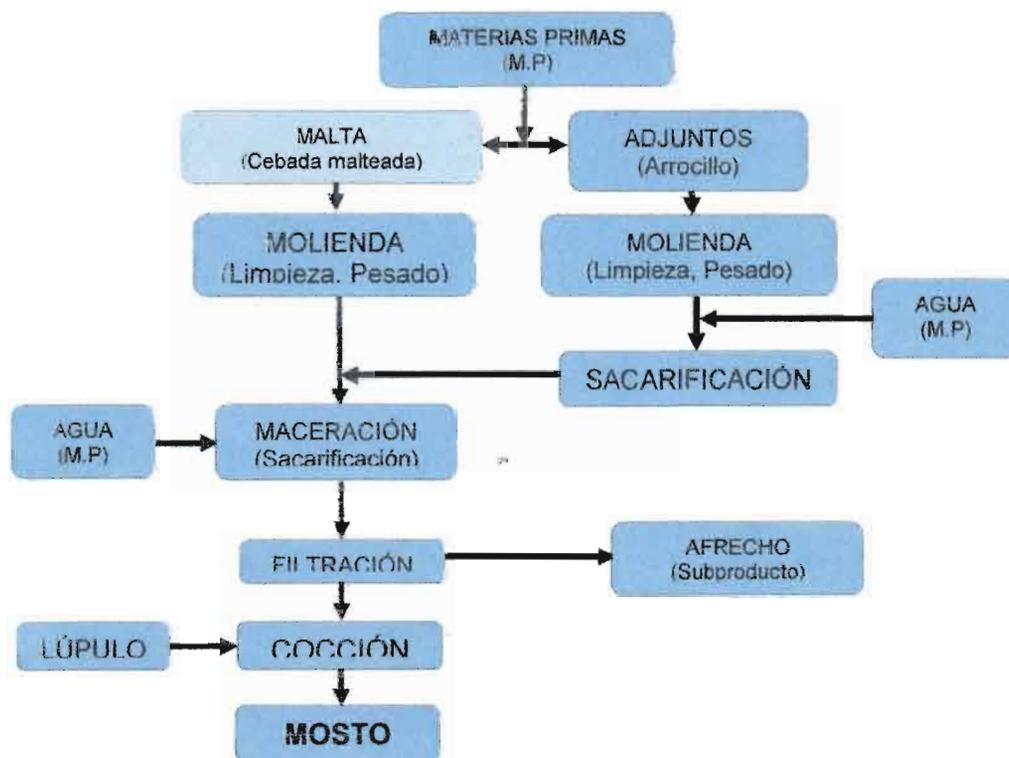


Figura 1-3 Diagrama de la Sala de Cocimiento

El objetivo de la Sala de Cocimiento es obtener un líquido azucarado llamado Mosto para lo cual se tienen los siguientes pasos:

#### Recepción y Almacenamiento de Materias Primas.

Aquí se recibe la materia prima, luego se pesa y se almacena en silos.

#### Molienda.

La malta y los adjuntos son sometidos al proceso de molienda con el objetivo de producir que todos los elementos constitutivos de las materias primas queden accesibles a la acción enzimática.

#### Maceración.

A la malta se la pone en la olla de maceración conjuntamente con los adjuntos, durante algún tiempo con ciertos parámetros de temperatura, esto se hace para que las enzimas de la propia malta transformen el almidón en azúcares que sean fácilmente fermentables.

#### Filtración.

Luego del proceso de maceración, toda la materia soluble que fue extraída de la malta debe separarse de la parte insoluble o afrechos, con esto se logra que el mosto sea brillante.

#### Cocción.

A través de la cocción se consigue la estabilización del mosto, así como obtener el extracto deseado por medio de la evaporación. También se consigue darle el sabor amargo, debido a que se le pone el lúpulo.

### **Fermentación y Maduración.**

#### Sedimentación.

El mosto formado se le sedimenta alrededor de 30 minutos para eliminar el afrecho proveniente del mosto.

#### Enfriamiento.

Se utiliza un enfriador de placas de enfriamiento donde se hace pasar el mosto. Para el enfriamiento utiliza agua fría alrededor de los 10 °C.

## Fase II. Fermentación y Maduración (Sala de Frío).

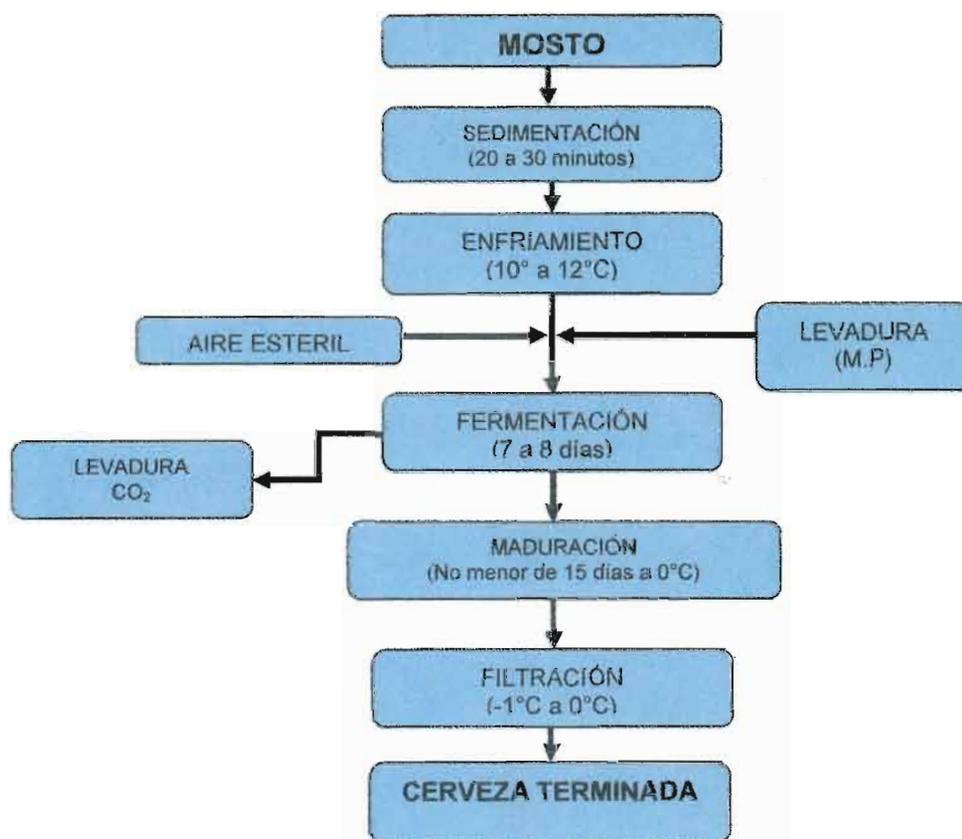


Figura 1-4 Diagrama de la Sala de Frío

### Fermentación.

El mosto enfriado se le añade levadura y aire estéril, se le lleva al tanque de fermentación, con la finalidad de que las levaduras transformen los azúcares en alcohol y gas carbónico. En este tanque permanece alrededor de 6 días, lapso en el que se realiza controles para asegurar la calidad del producto.

### Maduración (Reposo).

Al terminar la fermentación se baja la temperatura del tanque a 0°C, con esto se consigue detener la fermentación y hacer que se sedimente la levadura.

Durante el tiempo de reposo el gas hace una función de barrido de los aromas extraños.

### Filtración.

Esta filtración se realiza mediante filtros mecánicos a presión y ayudados ya sea por polvo filtrante o capas filtrantes, aquí se quedan las levaduras y los precipitados del rompimiento en frío dando una bebida brillante y con una

cantidad adecuada de CO<sub>2</sub>, para de esta manera pasar esa cerveza a los tanques de gobierno.

### 1.2.3 Descripción del Proceso de Embotellado de una Industria Cervecera.

#### Fase III. Embotellamiento (Sala de Embotellado).

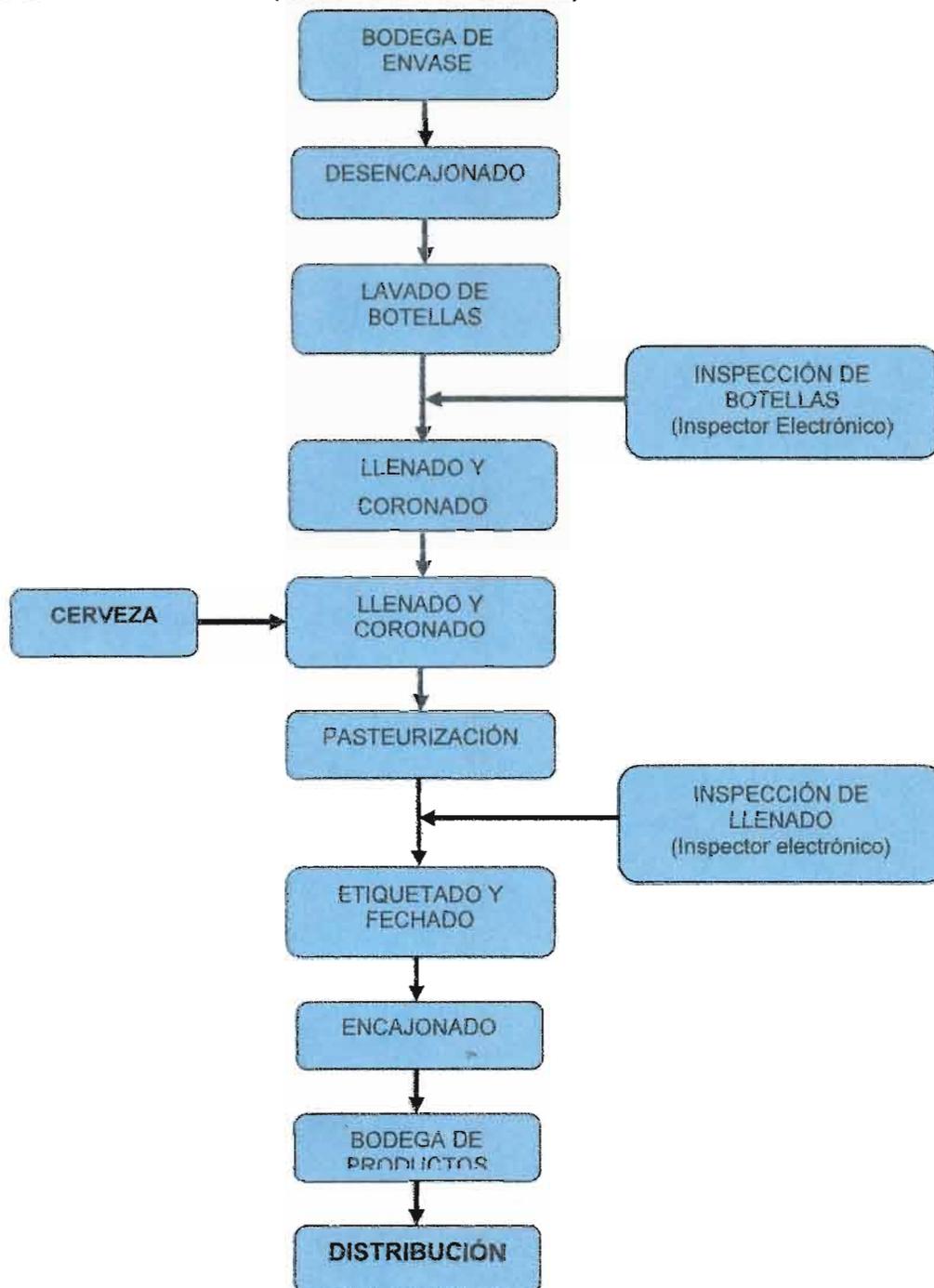


Figura 1-5 Diagrama de la Sala de Embotellado

El proceso de embotellado consta de:

### **Despaletizadora.**

Tiene como objetivo retirar las cajas con botella vacía de las paletas. Las paletas tienen la forma rectangular hecha de madera donde se colocan aproximadamente 72 cajas.

### **Desencajonadora.**

La desencajonadora se encarga de retirar las botellas vacías de las cajas y ponerlas en una mesa transportadora, que les guía hasta la lavadora de botellas.

### **Lavadora de Botellas.**

El objetivo de la lavadora de botellas es lavar las botellas vacías. En esta máquina se utiliza sosa con cierta concentración, tiene además tanques de almacenamiento donde se pone el agua de prelavado, sosa y el agua de enjuague. Se lava las botellas por inmersión ayudados mediante el calentamiento tanto del agua como de la sosa.

### **Inspectores de Botella Vacía.**

Es un equipo de inspección electrónica de las botellas vacías lavadas, el cual revisa defectos u objetos extraños dentro de la botella. Estos objetos extraños pueden encontrarse en diferentes sitios dentro de la botella, sin embargo el equipo cubrirá 4 zonas (central, intermedia, exterior y esquina), además toma en cuenta pico roto, agua residual y objetos grandes dentro de la botella.

### **Envasadora.**

La envasadora se encarga de llenar las botellas con cerveza y taparlas. La cerveza se la envía de los tanques de gobierno y antes de tapar se la inyecta una cierta cantidad de CO<sub>2</sub>.

### **Pasteurizadora.**

La pasteurizadora se encarga de pasteurizar la cerveza, haciendo pasar las botellas tapadas provenientes de la envasadora por un cierto tiempo por un sitio de mayor temperatura.

Para controlar el correcto proceso de la pasteurización se utiliza como control de medida una unidad derivada llamada unidades de pasteurización (UP).

Las unidades de pasteurización de la cerveza (UP) que consta en las figuras 1-8 y 1-9, se las utiliza para la disminución de la carga bacteriana, por lo que se tiene que controlar que la cerveza en el interior de la botella no sufra cambios en relación de sus características intrínsecas, es por eso que se tiene límites superior e inferior de las unidades de pasteurización.

La carga calórica recibida durante un minuto a 60 °C, en una bebida corresponde a una unidad de pasteurización.

### **Inspectores de Botella Llena.**

Estos inspectores de botella llena rechazan la botella que no contenga el nivel adecuado y no esté tapada correctamente.

### **Etiquetadora.**

La etiquetadora coloca las etiquetas en las botellas que salen de la pasteurizadora y pone la fecha y la hora en que se produjo la puesta de la etiqueta.

### **Encajonadora.**

La encajonadora coloca las botellas que provienen de la etiquetadora en las cajas limpias, las cuales vienen de la lavadora de cajas.

### **Paletizadora.**

El objetivo de esta máquina es empaletar las cajas con botellas llenas a las paletas, asegurando con una liga para evitar que se caigan las cajas, el momento de transportar las paletas a la bodega de despacho.

### **Lavadora de Cajas.**

Este equipo lava las cajas plásticas provenientes de la desencajonadora interior y exteriormente con la ayuda de duchas, luego se les manda a la encajonadora.

### Aplicación Práctica del Proyecto.

Para la aplicación práctica de esta tesis, se lo realizó en Cervecería Andina S.A., empresa cervecera ecuatoriana ubicada en Quito, en la Av. Francisco de Orellana S/N, Cumbayá - Ecuador, específicamente en el proceso de embotellado. El siguiente diagrama de flujo muestra la secuencia de la ejecución de este proyecto.

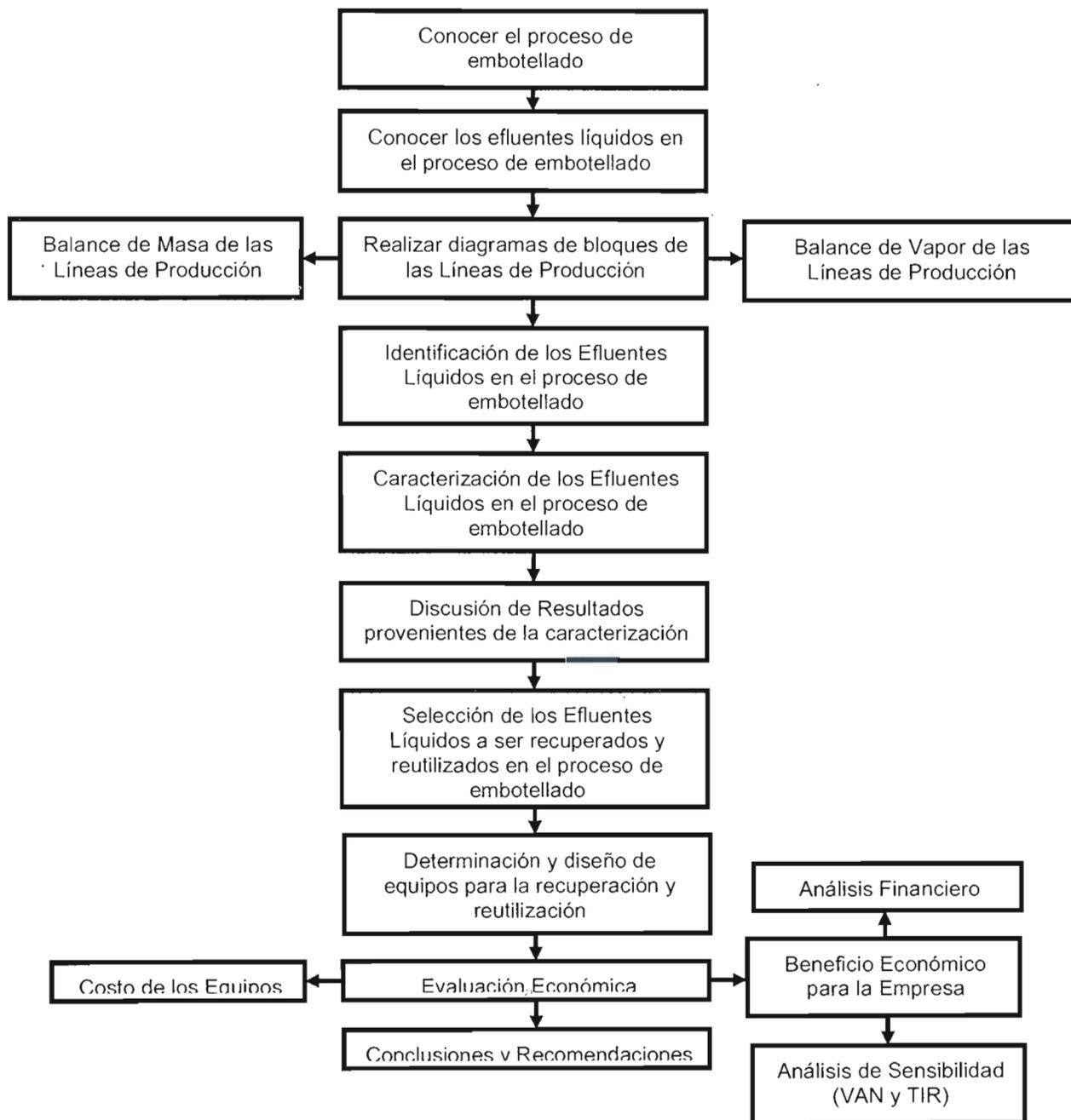


Figura 1-6 Secuencia Práctica del Proyecto

#### **1.2.4 Diagrama de Bloques de la Línea 3 y Línea 2 del Proceso de Embotellado.**

En Cervecería Andina S.A. se cuenta con dos líneas de producción que se denominan Línea 3 y Línea 2.

La Línea 3 tiene una capacidad de envasar 45000 bot. /h y la Línea 2 tiene la capacidad de envasar 24000 bot. /h.

La Línea 2 tiene los mismos equipos que la Línea 3 pero de diferente capacidad, tipo, funcionamiento y condiciones de operación.

En la Línea 3 actualmente se envasa el producto mayoritario de la empresa (Bebida A).

En la Línea 2 actualmente se envasan 8 formatos diferentes que corresponden a los demás productos de la empresa.

Los siguientes diagramas muestran como es el proceso de embotellado en forma específica de las dos líneas de producción que existen en la empresa, estos diagramas tienen todas las entradas y salidas que existen en el proceso de embotellado.

Estos diagramas nos permiten dar una idea de los lugares donde se generan efluentes líquidos.

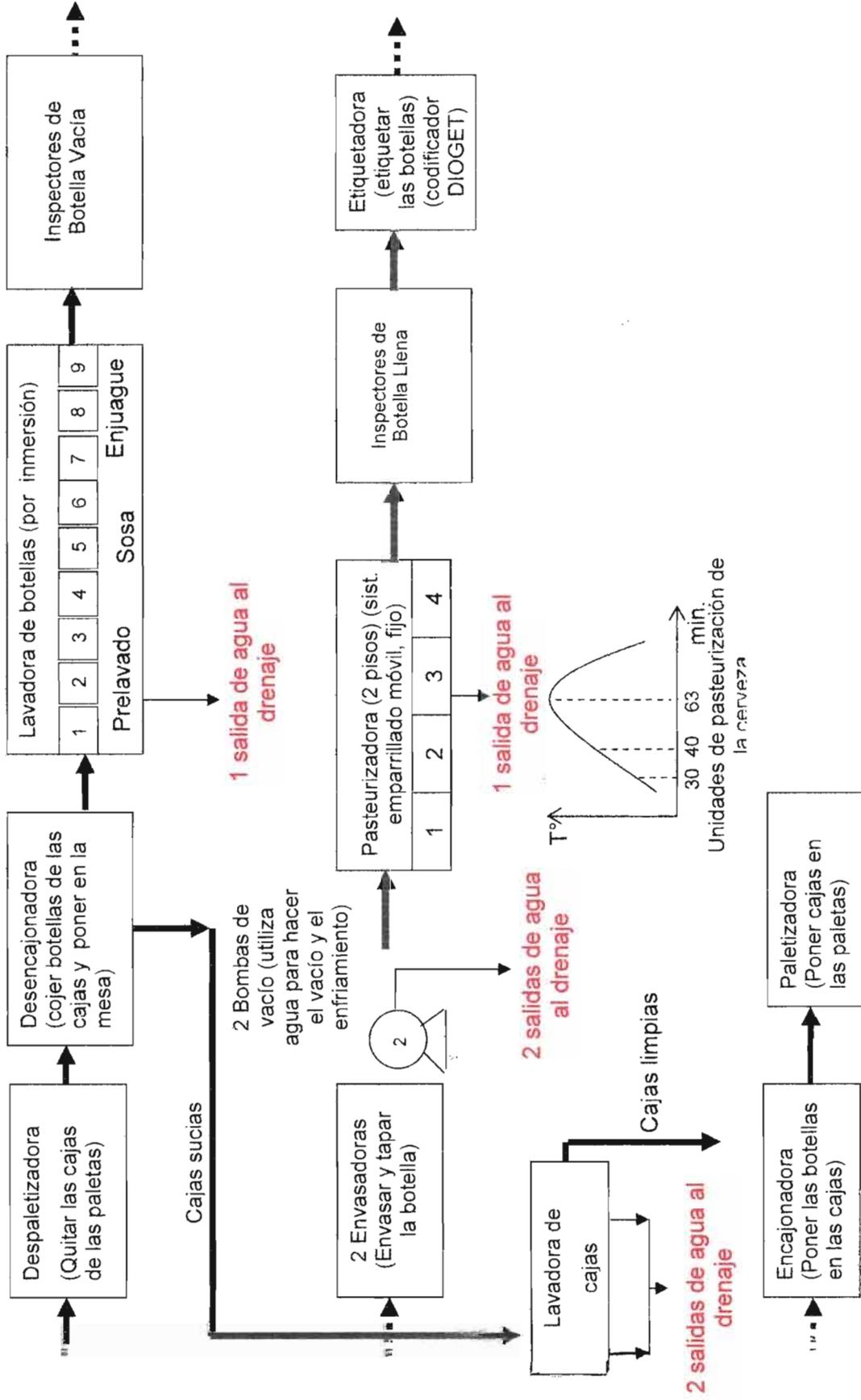


Figura 1-7 Diagrama de Bloques de la Línea 3 del Proceso de Embotellado

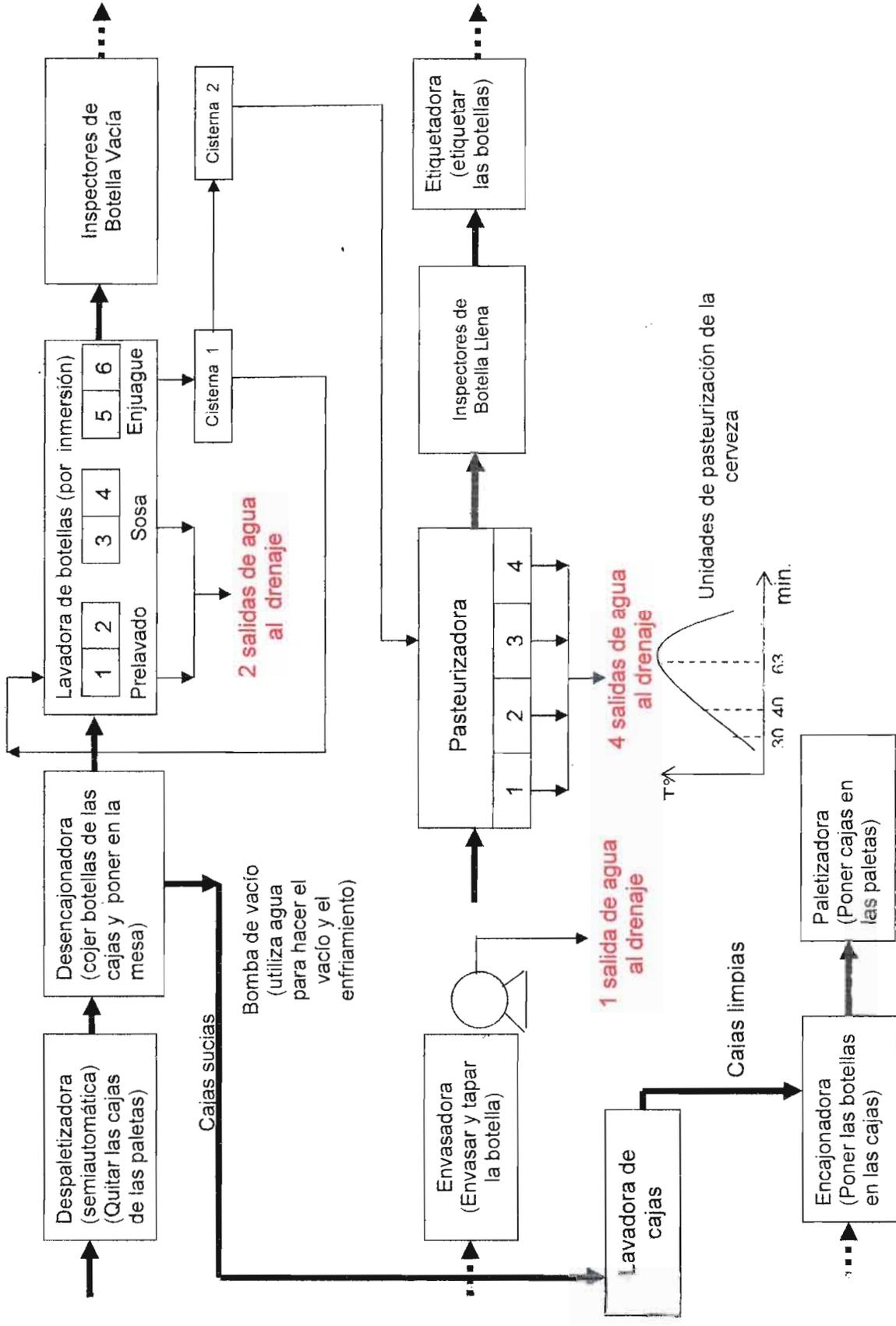


Figura 1-8 Diagrama de Bloques de la Línea 2 del Proceso de Embotellado

### 1.2.5 Características Generales de una Industria Cervecera Ecuatoriana.

Cervecería Andina S.A. cuenta con 4 fases para la producción de cerveza, las cuales son:

- ❖ Recepción y almacenamiento de la materia prima.
- ❖ Elaboración del mosto.
- ❖ Fermentación y maduración.
- ❖ Embotellado.

El agua que se utiliza para realizar todos los procesos de producción, provienen de pozos subterráneos, esta agua es bombeada y almacenada en cisternas que se encuentran en la planta de tratamiento que tiene la empresa.

El tratamiento que se le da a estas aguas consiste en ablandar y desalcalinizar las mismas, según los requerimientos que tenga la empresa para realizar sus procesos.

Por ejemplo para el proceso de bodega de frío se necesita agua desalcalinizada, los procesos de embotellado y servicios motrices necesitan agua ablandada.

La empresa trabaja de lunes a viernes para realizar la producción, los días sábados es para el mantenimiento y limpieza de las máquinas del proceso de embotellado.

El proceso de Servicios Motrices abastece de vapor comprimido a los diferentes procesos de producción que existen en la planta, para esto tiene calderas, estas utilizan como combustible bunker para hacer la combustión a una temperatura de 500 °C. El vapor que se obtiene va a los diferentes procesos a una temperatura de 100 °C.

La empresa tiene 2 turnos de trabajo generalmente, pero cuando se tiene mucha demanda de producción se realiza el turno de la velada. El primer turno empieza desde las 7:00 AM hasta las 3:00 PM, y el segundo turno desde las 3:00 PM hasta las 11:00 PM.

El turno de velada comienza desde las 11:00 PM hasta las 7:00 AM.

El proceso de embotellado cuenta con 2 líneas, en la Línea 2 se envasa cerveza grande y mediana: "Bebida A  $\frac{1}{2}$  (311 cm<sup>3</sup>), Bebida B (355 cm<sup>3</sup>), Bebida C  $\frac{1}{2}$  (311 cm<sup>3</sup>), Bebida D (311 cm<sup>3</sup>), Bebida E (311 cm<sup>3</sup>), Bebida E (578 cm<sup>3</sup>)", también se envasa "Bebida F (250 cm<sup>3</sup> y 311 cm<sup>3</sup>)", además de agua mineral purificada

“Bebida G (360 cm<sup>3</sup>)”, esta línea trabaja por lo regular solo un día a la semana; cuando hay mucha demanda de producción, esta línea trabaja 2 días a la semana.

La Línea 3 es la que se ocupa por lo general de martes a viernes, si no hay otra disposición, aquí se envasa solo el producto “Bebida A (578 cm<sup>3</sup>)”.

El proceso de embotellado utiliza vapor para el calentamiento de agua, principalmente en la lavadora de botellas como en la pasteurizadora, de las 2 líneas de producción existentes en la planta, este vapor se convierte en condensado, del cual una parte se recupera, y otra se desecha. La parte de condensado que se desecha es en la pasteurizadora mientras que el condensado que sale de la lavadora de botellas se recupera y se envía al proceso de servicios motrices donde con la ayuda de las calderas, calientan de nuevo este condensado, conjuntamente con el agua de reposición para lograr la cantidad de vapor requerida para todas las necesidades de la empresa.

El horario de producción organizado por la empresa normalmente es el siguiente:

Línea 3: 3.5825 días a la semana.

Línea 2: 2 días a la semana.

Los efluentes líquidos que se generan en toda la planta van a desembocar en una salida general donde se encuentra ubicado e instalado un vertedero, con la finalidad de poder medir el caudal general que produce la planta. Este caudal varía dependiendo de la hora, es decir existen horas donde se incrementa notablemente este caudal y hay otras horas donde este caudal es insignificante.

Luego de pasar por el vertedero, este efluente va a desembocar en la Quebrada de San Pedro (Quebrada Roja).

Los desechos sólidos que se forman en esta planta son recolectados y almacenados en un centro de acopio.

La planta cuenta con una red contra incendios que rodea a toda esta, tiene sistemas de seguridad en lugares donde están los compuestos inflamables como es la gasolina, diesel, bunker.

Los tanques donde almacenan la sosa diluida están protegidos por un muro que impide el derrame de esta, cuando exista alguna fuga o ruptura de estos tanques.

## **CAPÍTULO 2**

### **2 PARTE EXPERIMENTAL.**

## 2.1 Balance de Masa de la Línea 3 y Línea 2 del Proceso de Embotellado.

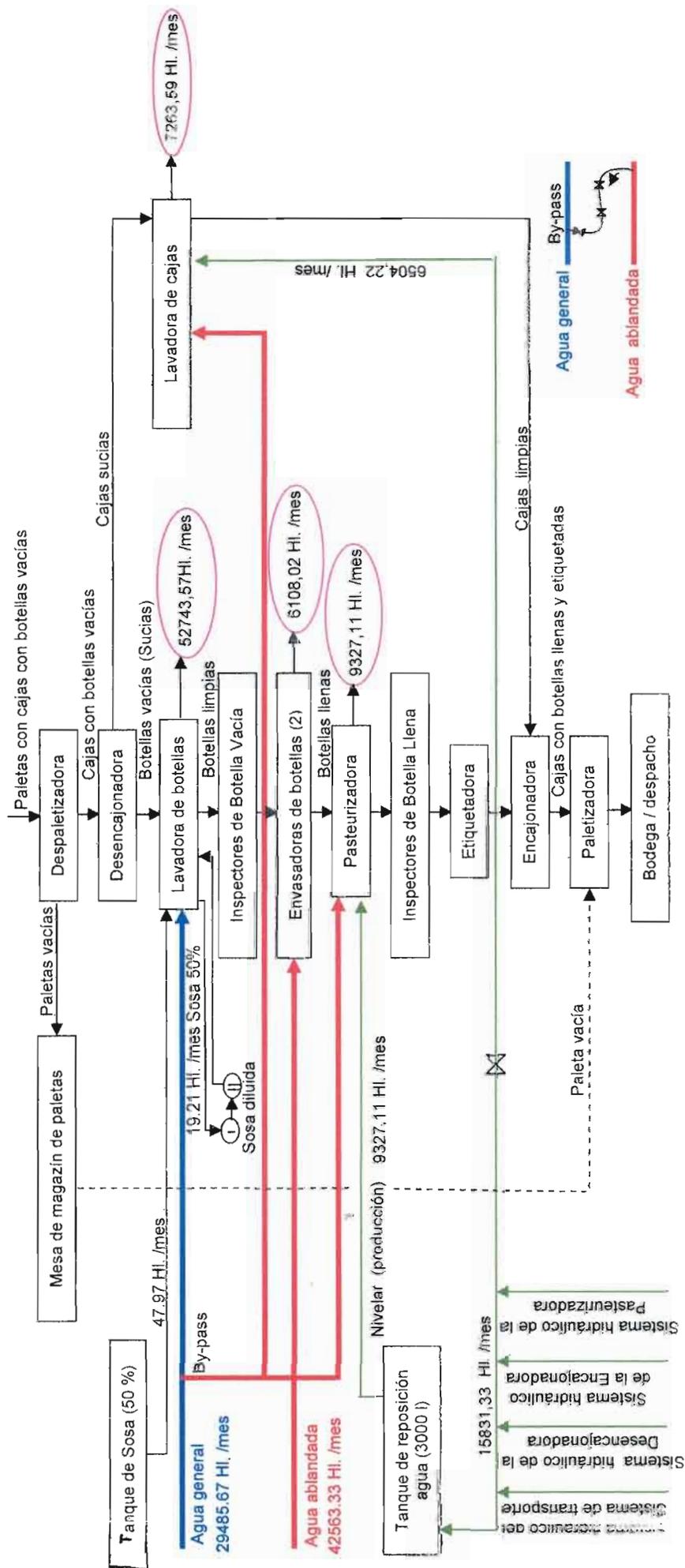


Figura 2-1 Balance de Masa de la Línea 3 del Proceso de Embotellado

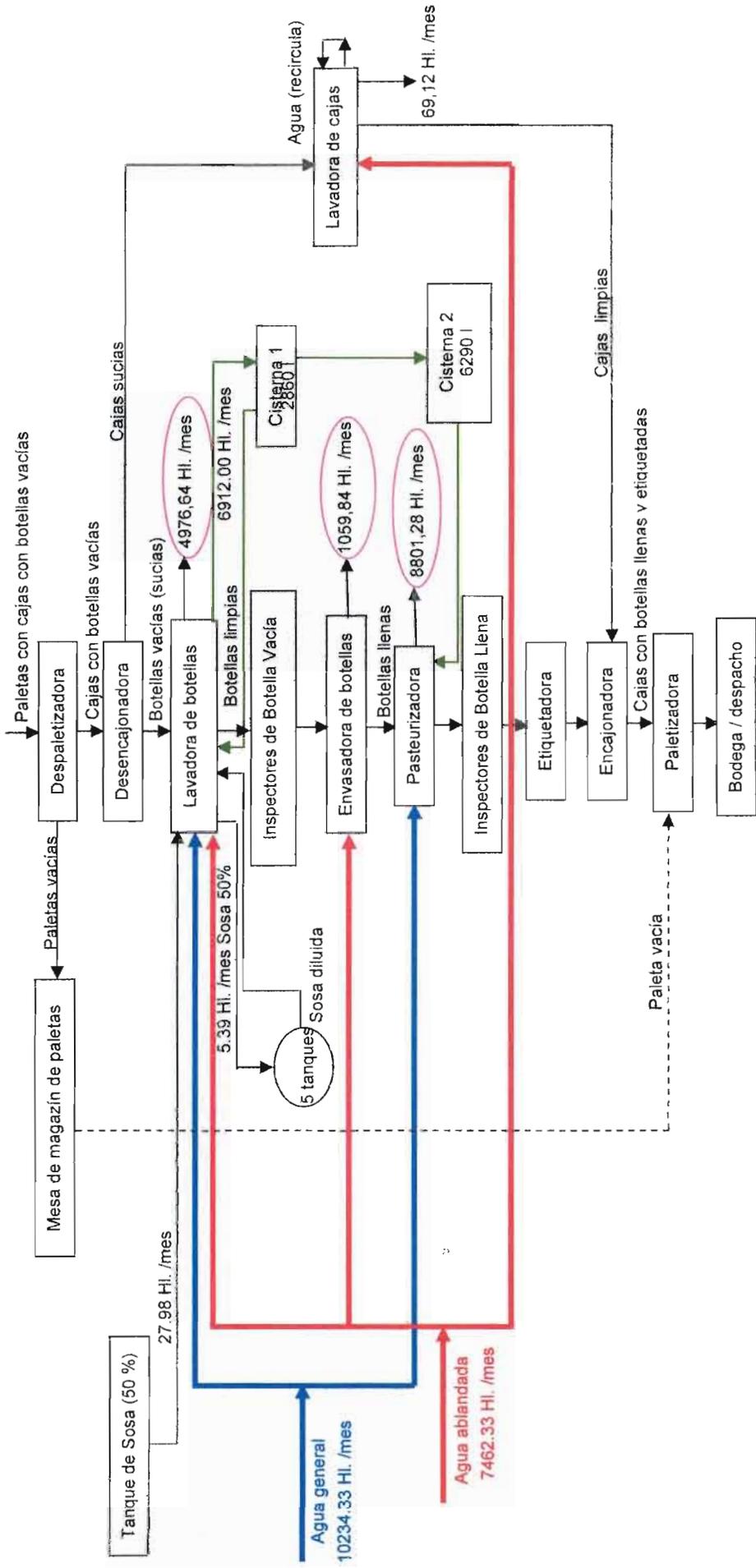


Figura 2-2 Balance de Masa de la Línea 2 del Proceso de Embotellado

## 2.2 Consumo de Vapor de la Línea 3 y Línea 2 del Proceso de Embotellado.

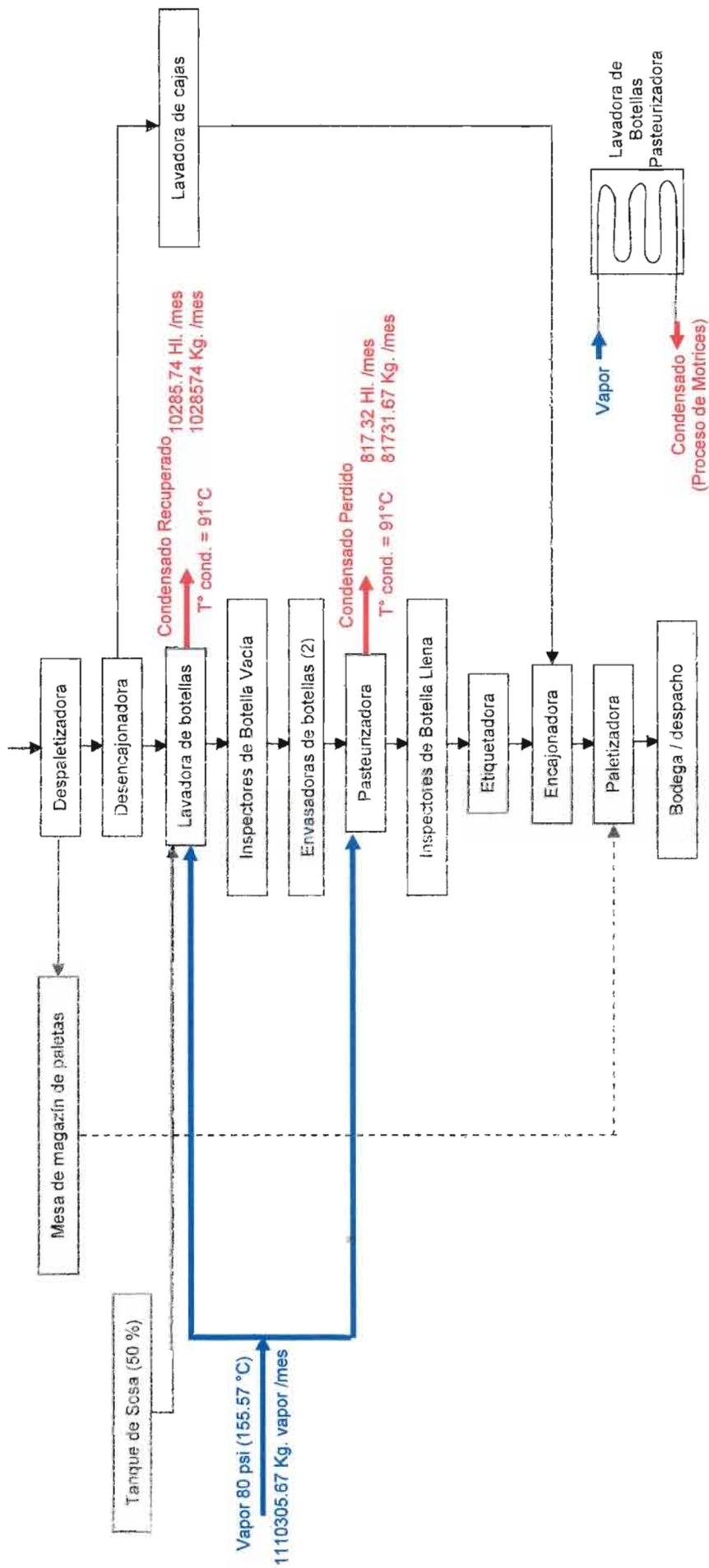


Figura 2-3 Consumo de Vapor de la Línea 3 del Proceso de Embotellado

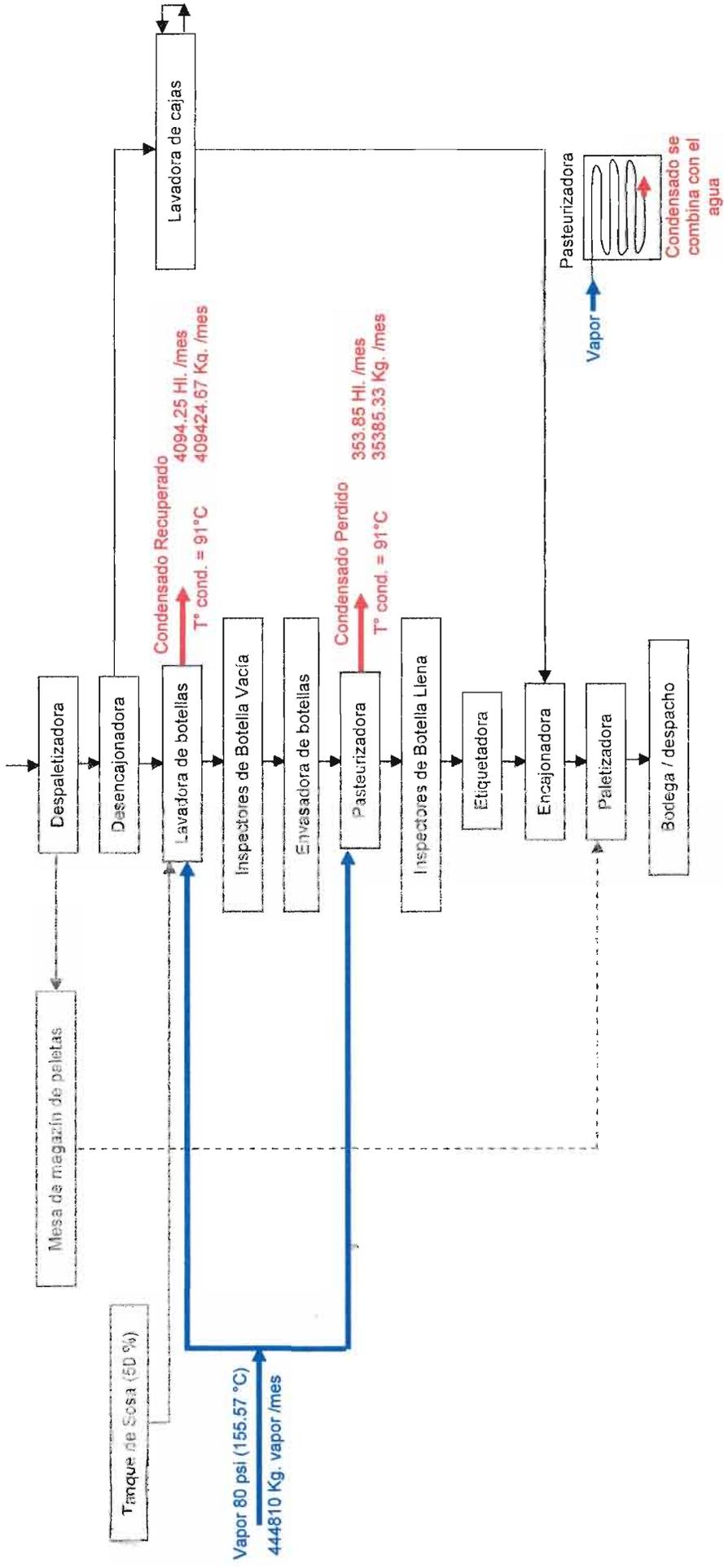


Figura 2-4 Consumo de Vapor de la Línea 2 del Proceso de Embotellado

### **2.3 Tiempo de Funcionamiento de las Máquinas de la Línea 3 y Línea 2 del Proceso de Embotellado.**

Para obtener el porcentaje del tiempo utilizado de cada máquina, se transforma el tiempo de funcionamiento por mes que viene dado en horas y minutos, datos obtenidos en la empresa, a tiempo de funcionamiento en horas, dividiendo este valor para el tiempo máximo de funcionamiento de cada línea de producción.

#### **Tiempo de Funcionamiento y Porcentaje del Tiempo Utilizado de las Máquinas de la Línea 3 del Proceso de Embotellado.**

El porcentaje del tiempo utilizado, tiene un valor promedio de 83.23% con una desviación estándar de 0.41, lo que demuestra que todas las máquinas funcionan de forma normal, sin tener entonces que optimizar el proceso para ninguna de las máquinas de la Línea 3.

#### **Tiempo de Funcionamiento y Porcentaje del Tiempo Utilizado de las Máquinas de la Línea 2 del Proceso de Embotellado.**

El porcentaje del tiempo utilizado, tiene un valor promedio de 99.50% con una desviación estándar de 0.004, lo que demuestra que todas las máquinas funcionan de forma normal, sin tener entonces que optimizar el proceso para ninguna de las máquinas de la Línea 2.

### **2.4 Propiedades Físico-Químicas del Agua que Ingresa al Proceso de Embotellado.**

Se obtiene un promedio de los valores de alcalinidad, dureza, pH del agua general y agua ablandada que se utiliza en el proceso de embotellado de 3 meses (agosto-octubre) del año 2002.

En la planta de tratamiento, al agua general la ablandan y desalcalinizan según el requerimiento de la empresa.

Estos procesos se los realiza con la ayuda de resinas de intercambio, las cuales se regeneran con sal (NaCl).

Para realizar los análisis de alcalinidad, dureza y pH, se toma cada día una muestra, de los tanques que contienen estos tipos de agua, es decir que al mes se recolectan 20 muestras.

En el agua general, la desviación estándar para el valor de alcalinidad es 1, para el de dureza 7.51, y para el valor del pH se tiene una desviación estándar de 0.08. En el agua ablandada, la desviación estándar para el valor de alcalinidad es 1.53, para el de dureza 1.15, y para el valor del pH se tiene una desviación estándar de 0.05.

Todos los valores son datos que se obtienen en el laboratorio de control de calidad de la empresa.

**Tabla 2-1 Propiedades Físico-Químicas del Agua General y Agua Ablandada registradas en 3 meses del año 2002.**

	<b>Alcalinidad (ppm CaCO<sub>3</sub>)</b>	<b>Dureza (ppm CaCO<sub>3</sub>)</b>	<b>pH</b>
Agua General	195	123.3	7.5
Agua Ablandada	184.7	2.7	7.5

## **2.5 Identificación de los Efluentes Líquidos generados en el Proceso de Embotellado.**

El proceso de embotellado de una industria cervecera ecuatoriana ocasiona que se produzcan efluentes líquidos, los cuales se mandan conjuntamente con los efluentes de otros procesos de la cervecería (elaboración-cocimiento), a la Quebrada de San Pedro "Quebrada Roja".

Los efluentes líquidos que se generan en el proceso de embotellado son los siguientes:

**Tabla 2-2 Efluentes Líquidos que se generan en el Proceso de Embotellado**

	<b>Lavadora de Botellas</b>	<b>Pasteurizadora</b>	<b>Envasadora de Botellas</b>	<b>Lavadora de Cajas</b>
<b>LÍNEA 3</b>	1 descarga	1 descarga	2 descargas	2 descargas
<b>LÍNEA 2</b>	2 descargas 1 reutilización	4 descargas	1 descarga	

Los efluentes líquidos en el proceso de embotellado salen de la siguiente manera:



**Ilustración 2-1 Efluente Líquido de la Pasteurizadora (Línea 3) (izquierda), Efluente Líquido de la Pasteurizadora (Línea 2) (Salida 4 derecha).**

## **2.6 Caracterización de los Efluentes Líquidos del Proceso de Embotellado.**

La caracterización de los efluentes líquidos se los realiza mediante el análisis en laboratorio de los parámetros de contaminación que traen consigo estos, por medio del procedimiento de los “Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales, APHA, AWWA, WPCF”. Estos parámetros se escogen en base a los requerimientos que se establece en la Ordenanza Metropolitana substitutiva del Capítulo III del Título V del Libro Segundo del Código Municipal.

A todos los efluentes líquidos que se generan en el proceso de embotellado se les caracteriza para luego ver cual de estos efluentes pueden ser recuperados en base a los valores que se obtienen de los parámetros de contaminación.

Los efluentes líquidos que salen del embotellado de una manera continua, es agua con impurezas, por lo tanto la caracterización de estos efluentes se la realiza en dos partes:

La primera parte comprende una toma de muestras puntuales en cada salida para medir pH, temperatura y caudal en intervalos de tiempo de aproximadamente una hora, durante el primer turno de trabajo, obteniéndose 7 datos por día, de cada

parámetro de contaminación. Esta parte recibe el nombre de caracterización física.

La segunda parte comprende la realización de los análisis de los demás parámetros de contaminación referentes a aguas residuales (Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, alcalinidad, dureza total, dureza cálcica), utilizando una muestra combinada o compuesta cada día del muestreo. Esta parte recibe el nombre de caracterización química.

### **2.6.1 Caracterización Física.**

#### **2.6.1.1 pH.**

La medición del valor del pH, se realiza por el Método Normalizado para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF (4)

#### **Reactivos:**

- Soluciones tampón estándar de pH conocido (pH 7 y pH 10).

#### **Equipos y Materiales:**

- Medidor de pH, provisto de un potenciómetro, un electrodo de vidrio, un electrodo de referencia y un dispositivo para compensar la temperatura (HANNA instruments, 8520).
- Vasos de preferencia de polietileno, teflón o equivalente de 500 ml. (PYREX USA N. 1003  $\pm$ 5%).
- Recipientes plásticos de un litro.

#### **Metodología:**

- Se calibra el sistema de electrodos con las soluciones tampón estándar según el procedimiento sugerido por el fabricante.
- Se toman muestras de cada salida donde hay efluentes de agua y se los pone en recipientes plásticos de un litro, esto se realiza cada hora.

- Se coloca la muestra en un vaso de precipitación de 500 ml.
- Se lleva la temperatura de la muestra cerca a 20 °C.
- Se enjuaga la celda de conductividad minuciosamente con una porción de la muestra y luego se la llena completamente, asegurando que no se adhieran burbujas de aire a los electrodos.
- Establezca el equilibrio entre electrodos y muestra, agitando para asegurar su homogeneidad antes de la lectura.
- Se espera hasta que se estabilice la medida ( $\pm 2$  minutos) y se procede a leer el valor del pH.

#### **2.6.1.2 Temperatura.**

La medición de la temperatura, se realiza por el Método Normalizado para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF (4)

#### **Equipos y Materiales:**

Termómetro de mercurio analógico de bulbo, con rango de 0 a 110 °C, con una apreciación de 1 °C (BOECO Germany 76 mm Inmersión).

#### **Metodología:**

- Para obtener buenos resultados, la temperatura se toma en el sitio de muestreo (in-situ), en un intervalo de una hora aproximadamente.
- El termómetro debe sumergirse en el agua preferiblemente con esta en movimiento y la lectura debe hacerse luego de un periodo de tiempo suficiente que permita la estabilización del nivel del mercurio.

#### **2.6.1.3 Caudal.**

El cálculo del caudal, se calcula por el método directo consultado en PERRY ROBERT H., Perry's Chemical Engineers' Handbook, McGraw-Hill Companies. (5)

**Equipos y Materiales:**

- Cronómetro digital (Cronus, 600, actionwatch™) CASIO, que tiene una apreciación de hasta una centésima de segundo, (min., seg., 1/100s).
- Recipientes plásticos de 8 litros, 1.5 litros, 350 ml.
- Recipiente con soporte que tiene un tubo soldado cuyo volumen aforado es de 1275 ml. (Las medidas de este recipiente son: diámetro = 23.4 cm., altura = 3 cm.)

**Metodología:**

- Se determina el tiempo que se demora en llenarse un determinado volumen.
- El paso anterior se repite por lo menos tres veces para asegurar una correcta medición.

**Cálculos:**

El caudal se calcula mediante la siguiente relación:

$$Q = \frac{V}{t}$$

**Ecuación 2-1 Cálculo del caudal**

Donde:

Q Caudal (l / s)

V Volumen (l)

t tiempo ( s)

**2.6.1.4 Volumen de descarga.**

El volumen de descarga se calcula mediante el área bajo la curva caudal vs. tiempo, cuyos datos de caudal y tiempo son obtenidos en la primera jornada de trabajo del día muestreado.

Se asume que el volumen de descarga por día del primer turno del proceso de embotellado es igual al volumen obtenido en el segundo turno de jornada del mismo día, por lo tanto el volumen total de descarga es igual a:

$$V_{total} = 2 * V_1$$

**Ecuación 2-2 Cálculo del volumen total de descarga**

Donde:

$V_{total}$  = Volumen total de descarga por día (HI. / día)

$V_1$  = Volumen de descarga para la primera jornada de trabajo en el proceso de Embotellado (HI.)

Una vez obtenido el volumen total de descarga por día y con el dato de hectolitros de cerveza envasados por día (información obtenida en el mismo proceso de embotellado) se calcula el Índice HI. Descarga / HI. Cerveza envasada.

### **2.6.2 Caracterización Química.**

La muestra necesaria para la caracterización química, se la obtiene a partir de la recolección de alícuotas que sean proporcionales al caudal de cada salida de los efluentes líquidos; cada alícuota es obtenida en intervalos de una hora. Esta muestra se almacena en recipientes plásticos a una temperatura de  $\pm 4$  °C, para evitar una disminución de las propiedades.

Inmediatamente después de obtener la muestra se procede a realizar los análisis de DBO y DQO, parámetros que son susceptibles de variar con el tiempo.

#### **2.6.2.1 Demanda Química de Oxígeno (DQO).**

La determinación de la DQO se la realiza por el Método de Reflujo Cerrado, Método Colorimétrico Normalizado para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF y el Método HACH, el cual se utiliza para comprobar los valores de DQO obtenidos con el otro método. (4)

#### **Reactivos:**

- Solución de digestión ( $K_2Cr_2O_7$ )
- Reactivo ácido sulfúrico
- Solución patrón de ftalato ácido de potasio (0.0021 M).

### Equipos y Materiales:

- Digestor COD REACTOR (HACH), capacidad 25 tubos de digestión.
- Tubos de digestión (PYREX, de 1.55 cm. de diámetro, 10.02 cm. de largo) con tapa.
- Espectrofotómetro (UV/VIS Spectro-photometer Lambda 3B PERKIN ELMER).
- Celda de cuarzo (QX 1.000(383))
- Vasos de precipitación 600 ml. (NALGENE 1201-06000 P 121°C MAX.).
- Pipetas serológicas de 2 ml. (PYREX N. 7065 USA 2 IN 1/10 TD 20°C).
- Pipetas serológicas de 10 ml. ( $\pm 0.05$  ml. AS EX +15S 20°C BLAU BRAND GERMANY).
- Pipetas serológicas de 10 ml. ( $\pm 0.075$  ml. GERMANY B EX 20°C SILBER BRAND ETERNA).
- Matraces de 100 ml. ( $\pm 0.10$  IN 20 °C NS 12 GERMANY).
- 2 Buretas (50 ml. PYREX USA STUDENT LINE N. 2116 TD 20°C).
- Matraces de 50 ml. (BLAU BRAND (NS 14/23) GERMANY).
- Matraces de 50ml. ( $\pm 0.08$  ml. In 20°C Duran).

### Metodología:

#### **Método de Reflujo Cerrado, Método Colorimétrico Normalizado para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF.**

- Se prepara con anterioridad los reactivos, que se colocan en un frasco de vidrio transparente y un frasco ámbar, con sus respectivas etiquetas, indicando el nombre y la fecha que se preparan. el reactivo de ácido sulfúrico ( $\text{R-H}_2\text{SO}_4$ ), se coloca en el frasco ámbar, porque tiene nitrato de plata y se oxida muy fácilmente con la luz.

#### **a) Solución de dicromato de potasio patrón, (0.0417 M)**

Se añade a unos 500 ml. de agua destilada, 10.216 g. de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , de calidad para reactivos estándar primaria, previamente secado a 103°C durante 2 horas, 167 ml. de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado y 33.3 g. de  $\text{HgSO}_4$ . Se disuelve, se enfría a temperatura ambiente y se diluye hasta 1000 ml.

**b) Reactivo Ácido Sulfúrico**

Se añade  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ , de calidad para reactivos o técnica, en cristales o en polvo a  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado en la proporción de 5.5 g  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  / Kg. de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Se deja reposar de uno a dos días para disolver el  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ .

**c) Solución patrón de Ftalato de Hidrógeno de Potasio (FHP)**

Se tritura ligeramente y luego se seca el ftalato de hidrógeno de potasio ( $\text{HOOC}\text{C}_6\text{H}_4\text{COOK}$ ) a peso constante a  $120^\circ\text{C}$ . Se disuelve 425 mg. en agua destilada y se diluye a 1000 ml. El FHP tiene un DQO teórico de 1.176 mg. $\text{O}_2$  / mg. Y esta solución tiene un DQO teórico de 500 mg. / l. Este reactivo es estable hasta 3 meses cuando se congela en ausencia de crecimiento biológico.

- Se preparan los tubos de digestión, colocando en cada uno, 1,5ml de solución de digestión, 3,5ml de reactivo de ácido sulfúrico, luego se homogeniza cada tubo agitando el mismo de abajo hacia arriba. Mezclar cuidadosamente la muestra a analizar, para asegurar una distribución uniforme de sólidos suspendidos. Precalentar el digestor de la DQO a  $150^\circ\text{C}$ . En cada tubo de digestión preparado, se coloca con una pipeta seriológica 2,5ml. de la muestra (Si es necesario diluir la muestra original). Cuando se tiene muchas muestras por analizar se coloca los reactivos en las 2 buretas, para facilitar de este modo la puesta de los reactivos en los tubos.
- Se busca el rango de cada muestra que se va a analizar, debido a que, la muestra si no está diluida se pasa del rango de la curva de calibración, es por eso que para cada muestra se tiene que hacer 3 diluciones las cuales se tiene que encontrarlas, para esto se inicia asumiendo tres diluciones iniciales que son: 0.5:50, 1:50, 1,5:50. Para algunas muestras estas diluciones son adecuadas pero para otras se tiene que hacer otras diluciones, y esto se descubre porque cuando falta muestra, el tubo luego del calentamiento, el valor de la absorbancia da un valor negativo, y cuando hay demasiada muestra, los tubos luego del calentamiento, dan una coloración verdosa en vez de tener un color amarillo brillante.

- Se tapa herméticamente y se agita. El tubo de digestor se torna muy caliente, por lo que podrá romperse (tener mucho cuidado en el manejo del tubo).
- Se coloca el tubo de digestión en el digestor precalentado. Se prepara un tubo de digestión de calibración o blanco, substituyendo la muestra que se analiza, por 2,5 ml. de agua destilada. Se debe acotar que para cada grupo de tubos hay que hacer también un tubo de calibración o blanco.
- Se calienta los tubos de digestión por dos horas a 150°C; el digestor tiene un timer que sirve para apagar automáticamente el digestor al finalizar las dos horas, luego se retiran los tubos.
- Una vez que se encuentren fríos los tubos de digestión, como para poder manipularlos, se observa la coloración de los tubos, el cual debe ser amarillo brillante; con el tubo de calibración (que contiene agua destilada), se encera el espectrofotómetro, se coloca luego cada muestra en la celda del espectrofotómetro y se lee la absorbancia a 600 nm, esta celda debe estar limpia y seca para evitar que haya interferencias en las lecturas, al leer la absorbancia, se bota la muestra en un frasco de vidrio y se limpia la celda poniéndola en un papel filtro para que se vaya todo residuo de la muestra que se bota, para poner una segunda muestra en la celda, se coloca un poco de la segunda muestra, se la agita un poco, y así se logra homogenizar la celda, posteriormente se pone en la celda, esta segunda muestra hasta un nivel adecuado (más de la mitad), se observa que la celda no se encuentre manchada por fuera, este procedimiento se repite cada vez que se quiere tomar la medida de absorbancia de otras muestras.
- Con este valor de absorbancia, se determina la DQO de la muestra por comparación en las curvas de calibración.

### **Método HACH. (7)**

Los tubos de digestión ya vienen con una solución digestora en el interior de los mismos.

- Se hace una dilución, la cual tiene que ser no menor del 25%, para todas las muestras ha analizar.
- Se coloca 2 ml. de la dilución en el tubo de digestión que contiene la solución digestora.

- Se tapa herméticamente y se agita. El tubo de digestor se torna muy caliente, por lo que podrá romperse (tener mucho cuidado en el manejo del tubo).
- Se coloca el tubo de digestión en el digestor precalentado. Se prepara un tubo de digestión de calibración o blanco, substituyendo la muestra que se analiza, por 2 ml. de agua destilada. En este método solo se tiene que preparar un solo tubo de calibración o blanco.
- Se calienta los tubos de digestión por dos horas a 150°C; el digestor tiene un timer que sirve para apagar automáticamente el digestor al finalizar las dos horas, luego se retiran los tubos.
- Una vez que se encuentren fríos los tubos de digestión, como para poder manipularlos, se observa la coloración de los tubos, en este método puede ser de color amarillo brillante como verde por el amplio rango que se abarca en este método; con el tubo de calibración (que contiene agua destilada), se encera el espectrofotómetro, se coloca luego cada muestra en la celda del espectrofotómetro y se lee la absorbancia a 600 nm.
- Con este valor de absorbancia, se determina la DQO de la muestra por comparación en las curvas de calibración.

#### **Preparación de la curva de calibración:**

#### **Método de Reflujo Cerrado, Método Colorimétrico Normalizado para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF.**

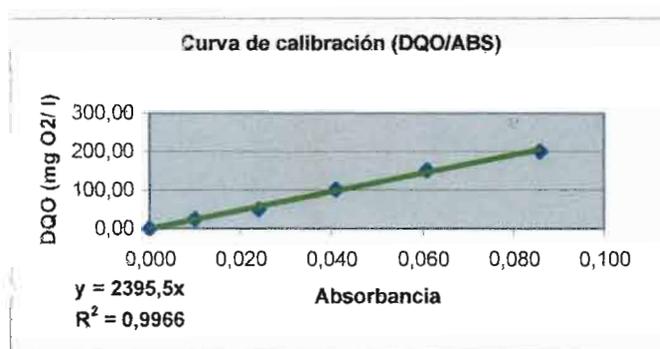
- Preparar por lo menos cinco patrones de la solución de ftalato ácido de potasio con DQO equivalentes que oscilen entre 20 y 900 mg O<sub>2</sub>/l. Se completa el volumen del matraz aforado con agua destilada, se homogeniza estas diluciones tapando los matraces y agitándolos; utilizar los mismos volúmenes de reactivos, los mismos tubos, o tamaños de ampolla y el mismo procedimiento de digestión que para las muestras. El ftalato ácido de potasio tiene un DQO teórico<sup>5</sup> de 500 mg. O<sub>2</sub>/l.
- Luego de tener los valores de absorbancia para cada dilución realizada, se procede a graficar los datos de concentración (mg. O<sub>2</sub>/l.) vs. Absorbancia, esta

---

<sup>5</sup> GFS Chemical Co., Columbus, Ohio.

relación tiene que dar una recta cuya regresión lineal nos proporciona el factor para multiplicar con los valores de absorbancia de las muestras que se van a analizar, claro que se le tiene que corregir con la dilución hecha para cada muestra analizada ese día.

- Se prepara la curva de calibración para cada nuevo lote de tubos o ampollas o cuando los patrones preparados difieran en  $\geq$  del 5% de la curva de calibración.



**Gráfico 2-1 Curva de calibración para el DQO**

### **Método HACH.**

- Preparar por lo menos cinco patrones de la solución de ftalato ácido de potasio con DQO equivalentes que oscilen entre 0 y 1500 mg O<sub>2</sub>/l. Se completa el volumen del matraz aforado con agua destilada, se homogeniza estas diluciones tapando los matraces y agitándolos; utilizar los mismos volúmenes de reactivos, los mismos tubos, o tamaños de ampolla y el mismo procedimiento de digestión que para las muestras. El ftalato ácido de potasio tiene un DQO teórico<sup>6</sup> de 500 mg. O<sub>2</sub>/l.
- Luego de tener los valores de absorbancia para cada dilución realizada, se procede a graficar los datos de concentración (mg. O<sub>2</sub>/l.) vs. Absorbancia, esta relación tiene que dar una recta cuya regresión lineal nos proporciona el factor para multiplicar con los valores de absorbancia de las muestras que se van a analizar, claro que se le tiene que corregir con la dilución hecha para cada muestra analizada ese día.

<sup>6</sup> GFS Chemical Co., Columbus, Ohio.

**Cálculos:**

$$\text{DQO en mg O}_2/\text{l} = \frac{\text{constante gráfica} * \text{absorbancia} * \text{ml.dilución}}{\text{ml.de muestra}}$$

**Ecuación 2-3 Cálculo del valor de la DQO****2.6.2.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO<sub>5</sub>).**

La determinación de la DBO se la realiza por la Prueba DBO de 5 días, Método Normalizado para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF. (4)

**Reactivos:**

- Solución de tampón fosfato (Se desecha el reactivo si hay algún signo de crecimiento biológico en frasco de reserva).
- Solución de sulfato de magnesio.
- Solución de cloruro de calcio.
- Solución de cloruro férrico.
- Solución ácida de ácido sulfúrico 1N para neutralización de muestras residuales cáustica.
- Solución básica, de hidróxido sodio 1N, para neutralización de muestras residuales ácidas.
- Solución de sulfato manganoso (MnSO<sub>4</sub>).
- Reactivo de álcali- yoduro – azida.
- Solución de almidón.
- Ácido sulfúrico concentrado.
- Solución de tiosulfato de sodio (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,025M).

**Equipos y Materiales:**

- Destilador (Distinction BIBBY model N. 04000 Voltage 220-240 V , watt age 3000 W , frequency 50/60 Hz).
- Recipiente amarillo de 50 l. de capacidad (sika).

- Botellas de incubación, capacidad de 300 ml (Frascos Winkler oscuros y transparentes).
- Incubador de aire o baño de agua (Mettler), controlado por termostato a  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Elimínese toda la luz para evitar la posibilidad de producción fotosintética de OD.
- Vaso de precipitación de 50 ml. (NALGENE 1201-06000 P  $121^{\circ}\text{C}$  Max.).
- Vaso de precipitación de 100 ml. (NALGENE 1201-06000 P  $121^{\circ}\text{C}$  Max.).
- Varilla de agitación.
- Cronómetro.
- Vasos de precipitación de 600 ml. (NALGENE 1201-06000 P  $121^{\circ}\text{C}$  MAX.)
- Pipetas serológicas 2 ml. (PYREX N. 7065 USA 2 IN 1/10 TD  $20^{\circ}\text{C}$ ) y 10 ml.  $\pm 0.075$  ml. (Germany B EX  $20^{\circ}\text{C}$  SILBER BRAND ETERNA).
- Frascos de 300ml.
- Agitador Magnético (nuova II stirplate thermolyne).
- Soporte metálico con pinza (PRECISION BURETTE HOLDER PAT. N. DES. 188, 563)
- Bureta 50 ml. (PYREX USA STUDENT LINE N. 2116 TD  $20^{\circ}\text{C}$ , apreciación 0.1 ml.).
- Erlenmeyer de 1000 ml. (PYREX USA  $\pm 5\%$  N. 4980 Stopper N.9).
- Probeta de 100ml. (KIMAX N. 20024 USA TD  $20^{\circ}\text{C}$ ).

### **Metodología:**

- Para realizar este análisis se tiene que preparar los reactivos, los cuales se los coloca en frascos de vidrio con su etiqueta para su fácil reconocimiento.

### **Solución de tampón (Buffer) fosfato.**

Se disuelve 8,5 g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 21,75 g de  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , 33,4 g de  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  y 1,7 g de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  en unos 500 ml de agua destilada y se diluye hasta 1l. El pH de la solución tiene que ser de 7,2 sin ajustes adicionales. Se desecha el reactivo(o cualquiera de los siguientes reactivos) si hay algún signo de crecimiento biológico en frasco de reserva.

**Solución de sulfato de magnesio.**

Se disuelve 22,5 g de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  en agua destilada y se diluye hasta 1 l.

**Solución de cloruro de calcio.**

Se diluye 27,5 g de  $\text{CaCl}_2$  en agua destilada y se diluye hasta 1l.

**Solución de cloruro férrico**

Se diluye 0,25 g de  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  en agua destilada y se diluye hasta 1l.

**Soluciones ácida y básica, 1N.**

Para neutralización de muestras residuales cáusticas y ácidas.

Ácida: Lentamente y mientras se agita, se añade 28 ml. de ácido sulfúrico conc. en agua destilada. Luego se diluye hasta 1 l.

Básica: Se diluye 40 g. de hidróxido sódico en agua destilada. Se diluye hasta 1 l.

**Solución de sulfato manganoso ( $\text{MnSO}_4$ ).**

Se disuelve 480g. de  $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , 400 g. de  $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  o 364 g. de  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  en agua destilada, se filtra y se diluye a 1 l. La solución  $\text{MnSO}_4$  no debe dar color con almidón cuando se añade a una solución acidificada de yoduro potásico (KI).

**Reactivo de álcali- yoduro – azida.**

Para muestras saturadas o menos saturadas:

Se disuelve 500 g. NaOH (o 700 g. KOH) y 135 g. NaI (o 150 g. KI) en agua destilada y se diluye a 1l. A continuación se añade 10 g.  $\text{NaN}_3$  disueltos en 40 ml. de agua destilada. Las sales de potasio y sodio pueden intercambiarse. Este reactivo no debe dar color con la solución de almidón cuando se diluya y acidifique.

**Solución de almidón.**

Se utiliza una solución acuosa o mezclas solubles de polvo de almidón. Para preparar una solución acuosa, se diluye 2 g. de almidón soluble calidad laboratorio y 0.2 g. de ácido salicílico, como conservador, en 100 ml. de agua destilada caliente.

**Ácido sulfúrico concentrado.**

1 ml. es equivalente a unos 3 ml. de reactivo álcali – yoduro – azida.

**Solución de tiosulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0,025M).**

Hervir durante 5 minutos 1 l. de agua destilada, dejar enfriar, luego se agrega 6.205 g. de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  y 0.25 g. de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , agitar hasta disolución completa y diluir hasta 1 l. Se estandariza con solución de  $\text{KIO}_3$  0.025 M., para lo cual se pesa 0.03 g. de  $\text{KIO}_3$  puro y seco (anotar el valor pesado hasta la décima de mg), transferir a un matraz de 250 ml. y disolver en 25 ml. de agua destilada, se agrega unos 2 g. de KI exento de Iodato, agitar hasta disolución completa y agregar 10 ml. de HCl 1N, titular inmediatamente con la solución de tiosulfato hasta que la coloración pase a amarillo pálido, en ese momento, agregar 5 ml. de almidón y seguir la titulación hasta la desaparición de la coloración.

Preparación del inóculo

- Adaptar a los microorganismos a los posibles componentes tóxicos que tenga el agua a ser analizada.
- Tomar 50 ml. de agua que contenga una considerable población microbiana (tomada de la Quebrada de San Pedro (Quebrada Roja)).
- Añadir 10 gotas del efluente (agua industrial), mezclar e incubar a 20°C.
- Después de media hora añadir 5 gotas más, mezclar e incubar.
- Después de una hora añadir 5 gotas más, e incubar por 24 horas. Al final de las 24 horas el inóculo está listo para ser usado, esto es, que la población de microorganismos están adaptados a los componentes de la muestra a analizar, por tanto están en la capacidad de biodegradar la materia orgánica disponible.

Preparación de agua para dilución:

- Destilar agua y colocar en un recipiente.
- Colocar el volumen deseado de agua destilada en un frasco adecuado (para una muestra se necesita 2 l., de estos 1.5 l para las diluciones de la muestra y 500 ml. para el control) y añadir 1 ml. de las soluciones de: tampón de fosfato, de  $\text{MgSO}_4$ , de  $\text{CaCl}_2$ , y de  $\text{FeCl}_3$  por litro de agua.

- Antes de usar el agua de dilución poner a una temperatura de 20°C. Saturar con OD agitando en una botella parcialmente llena o aireando con aire filtrado libre de materia orgánica por lo menos una hora. Luego se almacena en frascos taponados con algodón durante el tiempo suficiente para que se estabilice la concentración de OD en el agua. Proteger la calidad del agua utilizando material de vidrio, tubos y frascos limpios.

Con esto se consigue un agua rica en nutrientes y con una cantidad de OD inicial igual al oxígeno de saturación en la zona que es 6 ppm.

Técnica de dilución:

- Las diluciones que dan lugar a un OD residual de al menos 1 mg/l y una captación de OD de al menos 2 mg/l después de 5 días de incubación producen los resultados más fiables. Se hacen varias diluciones de la muestra preparada para obtener captación de OD en dicho intervalo. La experimentación con una muestra completa permitirá el uso de un número menor de diluciones. Un análisis más rápido, tal como la DQO, presenta una correlación aproximada con el DBO y sirve como una guía para seleccionar las diluciones.
- Al conocer el dato de la DQO se usa la siguiente relación:

$$\text{Vol. para 500 ml.} = \frac{5000}{(DQO * 2)} = \frac{2500}{DQO} = V_1 (\text{ml})$$

**Ecuación 2-4 Relación para encontrar la primera dilución en el DBO.**

- Se realizan tres diluciones de 500 ml. usando las siguientes relaciones:

$$D_1 = V_1 (\text{ml}).$$

$$D_2 = 1.5 * V_1 (\text{ml}).$$

$$D_3 = \frac{D_1 + D_2}{2}$$

**Ecuación 2-5 Relaciones para encontrar las otras diluciones en el DBO.**

Siembra:

- Se añade un volumen de inóculo igual a 0.5 ml. por litro de agua de dilución.
- Agitar sin provocar mucha turbulencia, luego se vuelve a tapar el frasco con algodón. En este momento se tiene agua con inóculo lista para recibir la muestra que contendrá la materia orgánica.
- Colocar la muestra en el vaso de precipitación y medir la temperatura (20°C) y el pH (6.5-7.5), si el pH no se encuentra en el rango se neutraliza con la solución de ácido sulfúrico o hidróxido de sodio, según sea el caso.
- Colocar agua de dilución con inóculo en los vasos de precipitación de 600 ml., aproximadamente hasta la mitad.
- Añadir la cantidad de muestra que se calcula para cada efluente líquido del proceso de embotellado, se mezcla con sumo cuidado y diluir hasta el nivel apropiado (500 ml.) con agua de dilución con inóculo.
- Sin realizar mucha turbulencia, se vierte el contenido de cada vaso de precipitación de 600 ml. a los frascos winkler oscuros, hasta rebosar, estos frascos están numerados para identificar la dilución que se encuentra en dicho frasco. Los frascos oscuros son para las diluciones de la muestra y para el control de simiente.
- Dejar reposar 15 minutos para eliminar cualquier burbuja de aire formada y tapar los frascos herméticamente con un sello hidráulico.
- Incubar a 20°C durante 5 días.
- El frasco winkler transparente tiene que estar con una etiqueta para identificar que muestra se ha puesto.
- En el frasco winkler transparente se coloca las diluciones de las muestras y el control de simiente que están todavía de sobra en los vasos de precipitación de 600 ml. hasta que rebozar este frasco.
- Tapar inmediatamente el frasco transparente y botar el exceso de agua que se encuentra en la parte superior del mismo.

- Luego se estabiliza la muestra que está en el frasco winkler transparente para la determinación del OD inicial con la modificación azida del método yodométrico, y se le incuba a 20°C durante 5 días.

Determinación del OD inicial:

- Si la muestra contiene materiales que reaccionan muy deprisa con el OD, se determina el OD inicial inmediatamente después de estabilizar el frasco winkler transparente. Si la captación rápida inicial de OD es insignificante, el tiempo transcurrido entre la preparación de la dilución y la determinación del OD inicial no es crítico.
- Utilizar la modificación azida del método yodométrico para determinar el OD inicial en todas las diluciones de la muestra, y los controles de simiente.

Incubación:

- Se incuba a 20°C  $\pm$  1°C los frascos de DBO que contengan las diluciones deseadas, los controles de simiente. Sellar los frascos.

Determinación del OD final:

- Después de 5 días de incubación, determinar el OD final en las diluciones de la muestra y los controles de siembra.

Estabilización y Titulación de las Muestras:

- Sacar los frascos incubados al 5to. Día, y se los destapa.
- A la muestra recogida en un frasco winkler de 300 ml., añadir 1ml de MnSO<sub>4</sub> (precipita algo pardo), y después 1ml de solución álcali – yoduro - azida, tapar con cuidado, excluir las burbujas de aire, y mezclar bien invirtiendo varias veces.
- Cuando el precipitado se ha depositado lo suficiente (hasta aproximadamente la mitad del frasco), se añade 1ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, vuélvase a tapar y mezclar bien hasta disolución completa.
- Titular un volumen correspondiente a 200ml. de muestra original (200 x 300 / (300 – 2) = 201ml), eliminar 99ml de muestra de la botella de 300ml.

- Titular con solución de 0.025M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hasta color amarillo tenue (pálido), agregar solución de almidón, la solución se torna azulada y titular hasta que la solución quede incolora.
- Anotar el volumen gastado, el cual será igual a la cantidad de oxígeno disuelto, en mg. /l.

Precauciones:

- Limpiar los frascos con un detergente, se enjuagan perfectamente, y luego secar antes de usarlos.
- Como precauciones contra la entrada de aire en la botella durante la incubación, utilícese un cierre hidráulico, para conseguir uno satisfactorio se invierten los frascos en un baño de agua o échese agua a la boca ensanchada de las botellas de DBO especiales.
- Colocar una taza de papel o de plástico, o una caperuza de papel de aluminio sobre la boca ensanchada de la botella para reducir la evaporación del cierre hidráulico durante la incubación.

**Cálculos:**

Para titular 200ml de muestra, 1ml de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,025M consumido en la titulación, es equivalente a 1 mg OD/l.

Cuando el agua de dilución está sembrada:

$$DBO_5, mgO_2/l. = \frac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2) f}{P}$$

**Ecuación 2-6 Relación para calcular el valor de la DBO<sub>5</sub>**

Donde:

D<sub>1</sub> = OD inicial de la muestra diluida, mg.O<sub>2</sub>/l.

D<sub>2</sub> = OD de la muestra diluida después de 5 días de incubación a 20°C, mg.O<sub>2</sub>/l.

P = fracción volumétrica decimal de la muestra utilizada.

$$P = \frac{Vol. muestra}{Vol. frasco winkler}$$

**Ecuación 2-7 Relación para calcular la fracción volumétrica decimal de la muestra utilizada.**

$B_1$  = OD inicial del control de simiente, mg.O<sub>2</sub> /l.

$B_2$  = OD del control de simiente después de la incubación, mg.O<sub>2</sub>/l.

f = Proporción de la simiente en la muestra diluida con respecto a la del control de simiente.

$$f = \frac{(\% \text{ de simiente en la muestra diluida})}{(\% \text{ de simiente en el control de simiente})}$$

**Ecuación 2-8 Proporción de la simiente en la muestra diluida a la del control de simiente.**

**2.6.2.3 Sólidos Totales.**

La determinación de los sólidos totales se realiza por el Método Normalizado para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF. (4)

**Equipos y Materiales:**

- Probeta de plástico (KIMBLE USA N. 52400 TC/TD 25°C).
- Balanza analítica (Fisher Scientific XA Analytical Balance, apreciación de hasta una décima de mg.).
- Cápsula de porcelana (COORSUSA 60200).
- Pinza metálica (FISHER NICHROME).
- Desecador (COORS USA 07).
- Resistencias para calentamiento (LABCONCO).
- Estufa (BLUE MA UNIT OF GENERA SIGNAL B-2729-Q CON UN TERMÓMETRO 2 SECALSA (°F y °C)).

**Metodología:**

- Se prepara la cápsula de porcelana, a la cual se lava, se seca en la estufa a una temperatura entre los 103° a 105°C.
- Se coloca la cápsula de porcelana en el desecador hasta que se la necesite y se pesa inmediatamente antes de usar.
- Se homogeniza la muestra, mediante agitación en el recipiente que contenga la misma.

- Se elige un volumen de muestra que proporcione un residuo entre 2,5 y 200 mg. (50 ml.), el cual se mide en una probeta y se transfiere este volumen a la cápsula de porcelana preparada.
- Se coloca el volumen de muestra medido en la cápsula de porcelana preparada y se la lleva a las resistencias de calentamiento para la evaporación casi total de la muestra.
- Se lleva la cápsula a la estufa para secar a esta a una temperatura entre los 103 a 105°C, luego se enfría en el desecador hasta que esta tenga peso constante.
- Conocidos los pesos inicial y final de la cápsula de porcelana se procede a calcular la cantidad de sólidos totales.

**Cálculos:**

$$\frac{\text{mg.sólidos totales}}{l.} = \frac{(A-B)*10^6}{\text{Vol.muestra}}$$

**Ecuación 2-9 Cálculo de los Sólidos Totales**

Donde:

A = peso de residuo seco + cápsula de porcelana, (g).

B = peso de la cápsula de porcelana, (g).

Vol. Muestra = volumen de la muestra (ml.).

**2.6.2.4 Sólidos Suspendidos.**

La determinación de los sólidos suspendidos se realiza por el Método Normalizado para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF. (4)

**Equipos y Materiales:**

- Embudos de filtración con filtro cerámico (50 ml. PYREX USA ASTM (4-5.5 µm.)).
- Bomba de vacío (model DOA – P104 – AA Volts. 115 AMPS 4,2 US. Patent. Number 3.981.631).
- Erlenmeyer de vacío 1000 ml. (PYREX USA N. 5340 Fiter Flask).

- Vaso de precipitación de 250 ml. (PYREX USA N. 1003  $\pm$ 5%).
- Probeta de plástico (KIMBLE USA N. 52400 TC/TD 25°C).
- Balanza analítica (Fisher Scientific XA Analytical Balance, apreciación de hasta una décima de mg.).
- Pinza metálica (FISHER NICHROME).
- Desecador (COORS USA 07).
- Resistencias para calentamiento (LABCONCO).
- Estufa (BLUE MA UNIT OF GENERA SIGNAL B-2729-Q CON UN TERMÓMETRO 2 SECALSA (°F y °C)).

### **Metodología:**

- Se prepara el embudo de filtración, al cual se coloca 3 volúmenes fijos de agua destilada, para filtrar al vacío, luego se pone este embudo en un vaso de precipitación, vertiendo sobre él solución sulfocrómica (desecho del análisis de la DQO), dejando al embudo durante 5 horas, luego de la cual se enjuaga el embudo de filtración con agua destilada, filtrándolo al vacío; después se coloca este embudo en la estufa a una temperatura entre los 103 a 105°C por 4 horas, por último se saca el embudo de la estufa.
- Se coloca el embudo de filtración en el desecador hasta que se lo necesite y se pesa inmediatamente antes de usar.
- Se homogeniza la muestra, mediante agitación en el recipiente que contenga la misma.
- Se elige un volumen de muestra que proporcione un residuo entre 2,5 y 200 mg. (50 ml.), el cual se mide en una probeta y se transfiere este volumen al embudo de filtración preparado.
- Se coloca el embudo de filtración sobre el adaptador que se encuentra en el erlenmeyer de vacío para realizar la filtración al vacío.
- Cuando se acaba de filtrar, se quita el vacío, y se lleva el embudo a la estufa para secar a este a una temperatura de entre los 103 a 105°C, luego se enfría en el desecador hasta peso constante del embudo de filtración.

- Conocidos los pesos inicial y final del embudo de filtración se procede a calcular la cantidad de sólidos suspendidos.

**Cálculos:**

$$\frac{\text{mg. sólidos suspendidos}}{l.} = \frac{(A-B)*10^6}{\text{Vol. muestra}}$$

### **Ecuación 2-10 Cálculo de los Sólidos Suspendidos**

Donde:

A = peso de residuo seco + embudo de filtración, (g).

B = peso del embudo de filtración, (g).

Vol. Muestra = volumen de la muestra (ml.).

#### **2.6.2.5 Sólidos disueltos.**

La determinación de los sólidos disueltos se realiza por el Método Normalizado para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF. (4)

**Equipos y Materiales:**

- Embudos de filtración con filtro cerámico (50 ml. PYREX USA ASTM (4-5.5  $\mu\text{m.}$ )).
- Bomba de vacío (model DOA – P104 – AA Volts. 115 AMPS 4,2 US. Patent. Number 3.981.631).
- Erlenmeyer de vacío 1000 ml. (PYREX USA N. 5340 Fiter Flask).
- Probeta de plástico (KIMBLE USA N. 52400 TC/TD 25°C).
- Cápsula de porcelana (COORSUSA 60200).
- Balanza analítica (Fisher Scientific XA Analytical Balance, apreciación de hasta una décima de mg.).
- Pinza metálica (FISHER NICHROME).
- Desecador (COORS USA 07).
- Estufa (BLUE MA UNIT OF GENERA SIGNAL B-2729-Q CON UN TERMÓMETRO 2 SECALSA (°F y °C)).

**Metodología:**

- Se prepara la cápsula de porcelana, a la cual se lava, se seca en la estufa a una temperatura entre los 103° a 105°C.
- Se coloca la cápsula de porcelana en el desecador hasta que se la necesite y se pesa inmediatamente antes de usar.
- Cuando se acaba de filtrar, se quita el vacío, se coloca la parte filtrada que está en el erlenmeyer de vacío en la cápsula de porcelana preparada y se la lleva a las resistencias de calentamiento para la evaporación casi total de la parte filtrada, mientras que el embudo de filtración es para calcular los sólidos suspendidos.
- Se lleva la cápsula a la estufa para secar a esta a una temperatura entre los 103 a 105°C, luego se enfría en el desecador hasta que esta tenga peso constante.
- Conocidos los pesos inicial y final de la cápsula de porcelana se procede a calcular la cantidad de sólidos disueltos.

**Cálculos:**

$$\frac{\text{mg. sólidos disueltos}}{l.} = \frac{(A-B) * 10^6}{\text{Vol. muestra}}$$

**Ecuación 2-11 Cálculo de los Sólidos Disueltos**

Donde:

A = peso de residuo seco + cápsula de porcelana, (g).

B = peso de la cápsula de porcelana, (g).

Vol. Muestra = volumen de la muestra (ml.).

**2.6.2.6 Sólidos Sedimentables.**

La determinación de los sólidos sedimentables se realiza por el Método Normalizado para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF. (4)

**Equipos y Materiales:**

- Cono Imhoff de 1000 ml (SILBER BRAND In 20°C DIN 12672 apreciación que va desde los 50 ml. hasta 0.1 ml.).
- Timer (MH RHODES INC. AVON. CONN).
- Varilla de vidrio.

**Metodología:**

- Se llena un cono Imhoff hasta la marca de un litro (1000 ml.) con muestra bien mezclada.
- Se enciende el timer para que suene en el tiempo programado.
- Se deja sedimentar durante 45 minutos, luego se remueve suavemente las paredes del cono con una varilla o mediante rotación.
- Se mantiene en reposo 15 minutos más y se registra el volumen de sólidos sedimentables del cono como mililitros por litro.
- El límite inferior práctico de la medición depende de la composición de la muestra y, en general es del orden de 0,1 a 1,0 ml/l.

**2.6.2.7 Dureza Total.**

La determinación de la dureza total se realiza por el Método Normalizado para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF. (4)

**Reactivos:**

- Solución de EDTA 0.01 M.
- Solución inhibidora (NaCN al 10%) con buffer de pH 10.
- Indicador: Solución de Negro de Eriocromo T en Trietanolamina.

**Equipos y Materiales:**

- Bureta digital (Burette Digital BRAND GMBH + CO Nur Original- Ladegerat 2.4 V. 22 mA/14h 2.5mA/∞ Made in Germany).
- Vasos de precipitación de 50 ml. (plástico MADE IN USA).
- Termómetro de rango de 0 a 110 °C, con una apreciación de 1 °C (BOECO Germany 76 mm Inmersión).

- Probeta plástica de 50 ml. (KIMBLE USA N. 52400 TC/TD 25°C).

### **Metodología:**

- Se prepara con anterioridad los reactivos.

#### **a) Solución de EDTA estándar (0.01 M).**

Se pesa 3.723 g. de etilendiaminotetracético disódico trihidratado, grado de reactivo analítico, también llamado (etilenodinitrilo) sal disódica del ácido tetraacético (EDTA); a continuación se disuelve en agua destilada hasta 1000 ml.

#### **b) Solución buffer incluido inhibidor.**

Se pesa 10 g. de hidróxido de sodio, 40 g. de disodio tetraborato ( $B_4O_7Na_2 \cdot 10H_2O$ ), 10 g. de sulfuro de sodio ( $Na_2S$ ), 10 g. tartrato de sodio y potasio ( $C_4H_4O_6NaK \cdot 4H_2O$ ). A continuación se disuelve todo en un litro de agua destilada.

#### **c) Indicador: Solución de Negro de Eriocromo T en Trietanolamina.**

Sal sódica del ácido 1-(1-hidroxi-2-naftilazo)-5-nitro-2-naftol-4-sulfónico, n.-203 en el índice de color. Se disuelve 1 g. de colorante en 100 ml. de 2,2', 2'' – nitrilotrietanol (también llamado trietanolamina). Se añade 2 gotas por 50 ml. de solución a titular. Si es necesario, ajustar el volumen.

- Se mide la temperatura de la muestra, que tiene que estar a una temperatura máxima de 30°C.
- Se mide 25 ml. de muestra en una probeta y se coloca en el vaso de precipitación
- Se agrega 0.5 ml. de solución inhibidora con buffer pH 10.
- Se agrega dos gotas de solución de indicador y se agita, la muestra adquiere un color morado.
- Se titula con la solución de EDTA, agitando constantemente la muestra y se continua hasta que cambie la coloración hasta azul.
- Al terminar la titulación se observa y se anota el volumen gastado de EDTA, para luego calcular la dureza total.

**Cálculos:**

$$ppm CaCO_3 = \frac{V_a * 1000}{V_m}$$

**Ecuación 2-12 Cálculo de la Dureza Total.**

$$ppm CaCO_3 = V_a * 40$$

**Ecuación 2-13 Cálculo abreviado de la Dureza Total.**

Donde:

V<sub>a</sub> = volumen gastado de EDTA en la titulación (ml.).

V<sub>m</sub> = volumen de muestra (25 ml.)

**2.6.2.8 Dureza Cálcica.**

La determinación de la dureza cálcica se realiza por el Método Normalizado para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF. (4)

**Reactivos:**

- Solución de EDTA 0.01 M.
- Indicador de Calcio MUREXIDE.
- Solución de Hidróxido de Sodio 1.0 N.

**Equipos y Materiales:**

- Bureta digital (Burette Digital BRAND GMBH + CO Nur Original- Ladegerat 2.4 V. 22 mA/14h 2.5mA/∞ Made in Germany).
- Vasos de precipitación de 50 ml. (plástico MADE IN USA).
- Termómetro de rango de 0 a 110 °C, con una apreciación de 1 °C (BOECO Germany 76 mm Inmersión).
- Probeta plástica de 50 ml. (KIMBLE USA N. 52400 TC/TD 25°C).

**Metodología:**

- Se prepara con anterioridad los reactivos.

**a) Solución de EDTA estándar (0.01 M).**

Se pesa 3.723 g. de etilendiaminotetracético disódico trihidratado, grado de reactivo analítico, también llamado (etilenodinitrilo) sal disódica del ácido

tetraacético (EDTA); a continuación se disuelve en agua destilada hasta 1000 ml.

**b) Solución de Hidróxido de Sodio 1.0 N.**

Se pesa 40 g. de hidróxido de sodio anhidro, se disuelve con 250 ml. y se diluye hasta 1000 ml. con agua destilada.

**c) Indicador de Calcio (MUREXIDE).**

Se mezcla 0.21 g. de purpurato de amonio (murexide) y 100 g. de cloruro de potasio, luego triturar, hasta que la mezcla pase por el tamiz de 40 – 50 mallas.

- Se mide la temperatura de la muestra, esta no debe de exceder de los 30°C.
- Se mide 50 ml. de muestra en una probeta y se coloca en el vaso de precipitación
- Se agrega 2 ml. de solución de Hidróxido de Sodio.
- Se agrega 100 mg. de indicador para Ca y se agita, la muestra adquiere un color salmón.
- Se titula con la solución de EDTA, agitando constantemente la muestra y se continua hasta que cambie la coloración a un morado, que no varia más por la adición de otra gota de indicador.
- Al terminar la titulación se observa y se anota el volumen gastado de EDTA, para luego calcular la dureza cálcica.

**Cálculos:**

$$ppm CaCO_3 = \frac{Va * 1000}{Vm}$$

**Ecuación 2-14 Cálculo de la Dureza Cálcica.**

$$ppm CaCO_3 = Va * 20$$

**Ecuación 2-15 Cálculo abreviado de la Dureza Cálcica.**

Donde:

Va = volumen gastado de EDTA en la titulación (ml.).

Vm = volumen de muestra (50 ml.)

### 2.6.2.9 Alcalinidad Aparente y Total.

La determinación de la alcalinidad aparente y total se realiza por el Método Normalizado para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF. (4)

#### Reactivos:

- Ácido Sulfúrico 0.02 N (Solución Estandarizada).
- Solución alcohólica de Fenolftaleína indicada a pH 8.3
- Solución de Anaranjado de Metilo (0.05 % p/v en agua destilada).

#### Equipos y Materiales:

- Bureta digital electrónica (Liquid Handling Station LHS 600 MERCK Diagnostica, apreciación de una décima de ppm).
- Probeta plástica de 50 ml. (KIMBLE USA N. 52400 TC/TD 25°C)
- Vasos de precipitación de 150 ml. (plástico MADE IN USA).

#### Metodología:

- Se prepara con anterioridad los reactivos.

##### a) Ácido Sulfúrico 0.02 N (Solución Estandarizada).

Se diluye 200 ml. de ácido estándar 0.1 N hasta 1000 ml. de agua destilada o desionizada.

##### b) Solución alcohólica de Fenolftaleína indicada a pH 8.3

Se pesa 5g. de fenolftaleína y se disuelve en 1l. de etanol al 50%.

##### c) Solución de Anaranjado de Metilo (0.05 % p/v).

Se pesa 0.5 -1g. de anaranjado de metilo sólido y se disuelve en 1 l. de agua destilada.

- Se mide 25 ml. de muestra en una probeta y se coloca en el vaso de precipitación
- Se agrega 3 gotas de solución de fenolftaleína, si la muestra tiene un pH > 8.3, se vuelve de color rosado.

- Se enciende la bureta digital, la cual tiene 2 programas en su memoria, el uno cuando se utiliza un volumen de muestra de 5 ml. (Recall 1) y el otro cuando el volumen de muestra es 25 ml. (Recall 2), este aparato el momento de la titulación nos da la medida del volumen gastado de  $H_2SO_4$ .
- Se titula con  $H_2SO_4$  0.02 N, hasta que la última gota ocasione la desaparición completa del color rosado y la muestra quede incolora.
- Se anota el volumen de ácido gastado y se aplasta el botón (FILL) que se encuentra en el panel de control de la bureta, para obtener el dato de la alcalinidad aparente en ppm  $CaCO_3$ .
- Se agrega 3 gotas de anaranjado de metilo y se continúa titulando con el ácido hasta que la última gota ocasione un viraje de amarillo a anaranjado.
- Se anota el volumen de ácido gastado y se aplasta el botón (FILL) que se encuentra en el panel de control de la bureta, para obtener el dato de la alcalinidad en ppm  $CaCO_3$ .
- Se anota el volumen total del ácido y se suma el dato de alcalinidad aparente con el dato que se dio anteriormente, obteniendo el valor de la alcalinidad total en ppm  $CaCO_3$ .
- Se comprueba el valor de alcalinidad en ppm  $CaCO_3$ , utilizando los 2 volúmenes de ácido gastado en la ecuación 2-16 o 2-17.

#### Cálculos:

$$ppm CaCO_3 = \frac{V_a * 1000}{V_m}$$

#### Ecuación 2-16 Cálculo de la Alcalinidad Aparente y Total.

$$ppm CaCO_3 = V_a * 40$$

#### Ecuación 2-17 Cálculo abreviado de la Alcalinidad Aparente y Total.

Donde:

$V_a$  = volumen gastado de ácido en la titulación (ml.)

$V_m$  = volumen de muestra (25 ml.)

## CAPÍTULO 3

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### 3.1 Resultados.

Los valores obtenidos de los parámetros de contaminación en la caracterización de los diferentes efluentes líquidos del proceso de embotellado, van a ser divididos en parámetros de contaminación principales y parámetros de contaminación secundarios.

Los parámetros de contaminación principales que toma en cuenta el Municipio son: pH, temperatura, caudal, DBO<sub>5</sub>, DQO, DQO/DBO, sólidos suspendidos.

Los parámetros de contaminación secundarios que toma en cuenta la empresa son: Volumen de descarga por día, índice (HI. descarga del efluente líquido por día /HI. Cerveza envasada), alcalinidad parcial, alcalinidad total, dureza total, dureza cálcica, sólidos totales, sólidos disueltos, sólidos sedimentables.

El caudal se determinó y la temperatura se midió in situ, en un período de 18 días y para los análisis químicos conjuntamente con la medición del pH se hizo en 17 días, razón por la cual se formaron alrededor de 17 muestras compuestas.

##### 3.1.1 Parámetros de Contaminación Principales.

Los valores de estos parámetros de los efluentes líquidos de la línea 3 del proceso de embotellado se presentan en la tabla 3-1 y los de la línea 2 se presentan en la tabla 3-2.

##### 3.1.2 Parámetros de Contaminación Secundarios.

Los valores de estos parámetros de los efluentes líquidos de la línea 3 del proceso de embotellado se presentan en la tabla 3-3 y los de la línea 2 se presentan en la tabla 3-4.

Tabla 3-1 Parámetros de Contaminación Principales de los Efluentes Líquidos de la Línea 3 del Proceso de Embotellado

Análisis Físicos y Químicos	Unidades	Lavadora de botellas	Lavadora de cajas		Pasteurizadora	Envasadora	
			Salida 1	Salida 2		Bomba vacío 1	Bomba vacío 2
pH		12.51	8.13	8.25	8.08	7.74	7.69
Temperatura	°C	48.39	25.93	26.73	49.46	33.20	33.34
Caudal	l/s	6.39	0.48	0.40	1.13	0.41	0.33
DBO <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /l	251.05	16.45	9.36	24.46	75.46	100.49
DQO	mgO <sub>2</sub> /l	2323.02	36.43	56.27	354.59	647.90	992.08
DQO/DBO <sub>5</sub>		9.36	2.13	5.27	14.58	8.55	9.99
Sólidos suspendidos	mg/l	107.11	62.29	35.43	25.00	13.33	26.57

Tabla 3-2 Parámetros de Contaminación Principales de los Efluentes Líquidos de la Línea 2 del Proceso de Embotellado

Análisis Físicos y Químicos	Unidades	Lavadora de botellas				Envasadora	Pasteurizadora			
		Salida A	Salida C	Salida D	Salida 1		Salida 2	Salida 3	Salida 4	
		11.17	13.08	11.71	10.41		10.58	10.46	10.84	
Temperatura	°C	51.28	53.72	38.45	47.11	62.88	53.65	48.98		
Caudal	l/s	0.61	0.47	1.50	0.31	0.19	0.30	1.11		
DBO <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /l	363.13	52.84	54.69	74.54	26.53	62.52	25.12		
DQO	mgO <sub>2</sub> /l	7664.15	283.00	244.50	202.77	188.35	166.21	136.88		
DQO/DBO <sub>5</sub>		21.19	5.45	4.60	2.71	7.11	2.68	5.45		
Sólidos suspendidos	mg/l	153.60	197.60	42.80	71.60	30.80	54.80	44.50		

Tabla 3-3 Parámetros de Contaminación Secundarios de los Efluentes Líquidos de la Línea 3 del Proceso de Embotellado

Análisis Físicos y Químicos	Unidades	Lavadora de botellas	Lavadora de cajas		Pasteurizadora	Envasadora	
			Salida 1	Salida 2		Bomba vacío 1	Bomba vacío 2
Volumen descarga	Hl. /día	3680.64	276.48	230.40	650.88	236.16	190.08
Índice	Hl.descarga por día /Hl.cerveza envasada diario	0.87	0.07	0.07	0.13	0.05	0.04
Alcalinidad parcial	ppm CaCO <sub>3</sub>	693.32	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
Alcalinidad total	ppm CaCO <sub>3</sub>	1108.24	194.89	187.93	136.73	179.56	182.14
Dureza cálcica	ppm CaCO <sub>3</sub>	8.22	16.16	14.93	14.94	10.86	10.49
Dureza total	ppm CaCO <sub>3</sub>	14.31	49.89	46.74	54.95	46.13	46.27
Sólidos totales	mg/l	2266.00	495.00	351.43	327.50	442.50	511.43
Sólidos disueltos	mg/l	2151.11	409.67	312.00	313.71	428.57	488.89
Sólidos sedimentables	ml/l	0.93	0.33	0.16	0.14	0.00	0.00



## 3.2 Discusión de Resultados.

### **Balance de Masa de la Línea 3 del Proceso de Embotellado.**

El proceso es continuo desde que entra la primera botella a la despaletizadora hasta que sale la última botella de la paletizadora.

Algunos procesos no necesitan agua para cumplir sus objetivos de trabajo como la despaletizadora, desencajonadora, inspectores de botella vacía y de botella llena, etiquetadora, encajonadora y paletizadora.

El agua que ingresa a esta línea de producción tiene un consumo de 29485.67 Hl./mes de agua general que va a la lavadora de botellas; 42563.33 Hl./mes de agua ablandada que se utiliza en las envasadoras, pasteurizadora, lavadora de cajas y en la lavadora de botellas; cabe recalcar que no se tiene datos de cuanta agua ya sea general o ablandada va a cada máquina, debido a que no se cuenta con medidores de flujo y la manera de agregar o cargar agua es en su mayoría manual, mediante la observación de por ejemplo ver que se encuentren nivelados los tanques donde se almacena dicho líquido, también algunas máquinas como la pasteurizadora, lavadora de botellas y lavadora de cajas cuentan con controles de nivel y de temperatura.

En la lavadora de botellas se aprecia que se agrega 47.97 Hl. /mes de sosa proveniente de un tanque de almacenamiento, con una concentración del 50%, a los diferentes tanques de la máquina antes mencionada; esta sosa sirve para limpiar y desinfectar las botellas con la ayuda de la temperatura; en la lavadora de botellas se genera un efluente líquido cuyo flujo es 52743.57 Hl. /mes, que es muy contaminante debido a que trae muchos sólidos y gran cantidad de carga, la identificación de este efluente y los valores de sus parámetros de contaminación se los encuentra anotados en las tablas 3-1 y 3-3, en donde se coloca todos los valores de los parámetros de contaminación que tienen todos los efluentes líquidos que se generan en esta línea de producción; en la lavadora de botellas cuando hay parada, se manda 19.21Hl. /mes de sosa diluida que está en los tanques de esta máquina a otros tanques de almacenamiento que se encuentran en la parte exterior de esta línea de producción, esta sosa diluida pasa del tanque I al tanque II por medio de un filtro que ayuda a limpiar esta sosa, para luego volver a mandarla a los tanques de la lavadora de botellas cuando sea necesario.

En las envasadoras de botellas se utiliza agua ablandada, por lo que en estas máquinas se generan 2 efluentes líquidos en una cantidad de 6108.02 Hl. /mes.

La pasteurizadora al comenzar la jornada se carga con agua ablandada y luego para nivelar los tanques durante la producción cuentan con agua proveniente de un tanque de reposición que tiene una capacidad de 3000 l., esta agua tiene un flujo de 9327.11 Hl. /mes, esta cantidad corresponde a compensar los tanques que hay en esta máquina, esta agua proviene de los sistemas hidráulicos de: sistemas de transporte, desencajonadora, encajonadora, pasteurizadora, que sirve para enfriar los diferentes aparatos que funcionan mecánicamente, por ejemplo antes para realizar el proceso de traslado de botellas, el aceite usado en el motor se calentaba mucho, es por eso que decidieron poner agua de enfriamiento para que la temperatura del aceite esté entre los 50°C; en esta máquina se genera un efluente líquido cuyo flujo es 9327.11 Hl. /mes.

Este tanque de reposición hay solo en la Línea 3, esto se debe a que hay mayor trabajo.

En la lavadora de cajas se utiliza agua ablandada y agua que viene de los sistemas hidráulicos antes mencionados, siendo su flujo de 6504.22 Hl. /mes que corresponde a compensar el tanque de almacenamiento que hay en esta máquina cuyo volumen es 4.8 m<sup>3</sup>; aquí hay generación de 2 efluentes líquidos que salen en una cantidad de 7263.59 Hl. /mes.

El agua que se evapora en la Línea 3 es 2063.52 Hl. /mes (0.25 l/s).

La cantidad de agua que ingresa a la Línea 3 tomando en cuenta agua general, ablandada, sistemas hidráulicos es 87880.33 Hl. /mes (10.65 l/s) y el agua que sale tomando en cuenta efluentes líquidos, agua para llenar tanques de la pasteurizadora, lavadora de botellas, lavadora de cajas, agua evaporada es 85982.75 Hl. /mes (10.417 l/s), teniendo una pérdida en diferentes lugares de la Línea 3 en una cantidad de 1906.69 Hl. /mes (0.231 l/s), con estos resultados se tiene un porcentaje de 2.17% de agua que se pierde, este valor se debe a la pérdida de agua que ocurre por el uso en la limpieza a través de mangueras por todo el piso de esta línea de producción.

### **Balance de Masa de la Línea 2 del Proceso de Embotellado.**

Esta línea de producción es más pequeña que la anterior; el agua que se evapora en la Línea 2 es 410.112 HI. /mes (0.089 l/s).

La cantidad de agua que ingresa a la Línea 2 tomando en cuenta agua general, ablandada, condensado que ingresa en la pasteurizadora es 18050.51 HI. /mes (3.92 l/s) y el agua que sale tomando en cuenta efluentes líquidos, agua para llenar tanques de la pasteurizadora, lavadora de botellas, lavadora de cajas, agua evaporada es 17716.38 HI. /mes (3.845 l/s), teniendo una pérdida en diferentes lugares de la Línea 2 en una cantidad de 334.77 HI. /mes (0.072 l/s), con un porcentaje de pérdida de 1.84%, este alto porcentaje se debe principalmente al uso desmedido de limpieza a través de mangueras por todo el piso de esta línea de producción.

Mediante las figuras 2-3 y 2-4, se observa que se necesita 10234.33 HI. /mes (2.22 l/s) de agua general, que va a la lavadora de botellas, lavadora de cajas y pasteurizadora, 7462.33 HI. /mes (1.62 l/s) de agua ablandada que ingresa a la lavadora de botellas, lavadora de cajas y envasadora.

En la lavadora de botellas se coloca también sosa con una concentración del 50%, en una cantidad de 27.98 HI. /mes, proveniente de un tanque de almacenamiento; en esta máquina se coloca agua general y ablandada, además en cada parada de esta línea de producción se manda 5.39 HI. /mes de sosa diluida a 5 tanques que están en la parte exterior de esta línea, para luego recircular a la misma lavadora de botellas cuando sea necesario; cabe mencionar que aquí hay 3 efluentes líquidos y uno de estos ya está siendo recuperado y recirculado, el efluente que ya está siendo recuperado y recirculado se le nombra como Salida D que tiene un flujo de 6912.00 HI. /mes, los otros 2 efluentes (Salida A y Salida C) tienen un flujo aproximado de 4976.64 HI. /mes.

La lavadora de cajas utiliza agua ablandada y se coloca en 2 tanques cuyas dimensiones son: (largo = 0.43 m, ancho = 0.8 m y altura = 0.5 m), teniendo un volumen de 0.172 m<sup>3</sup> por tanque; donde se recircula, es por esto que en los tanques hay filtros para impedir que alguna basura tape las duchas donde sale el agua para lavar las cajas; esta máquina genera una salida de 69.12 HI. / mes, este efluente o salida no se desperdicia en forma continua sino en forma batch.

En esta línea de producción hay una sola envasadora, la cual utiliza agua ablandada, razón por la cual se genera un efluente líquido en una cantidad de 1059.84 HI. /mes.

La pasteurizadora se la carga con agua general y durante la producción para nivelar los tanques utiliza el agua que viene de dos cisternas, en la primera cisterna se recupera el efluente líquido de la lavadora de botellas que está en la zona de enjuague (Salida D); en la pasteurizadora se generan 4 efluentes líquidos (Salida 1, 2, 3, 4), producto del reboso o derrame de los tanques de almacenamiento, los mismos que tienen un flujo de 8801.28 HI. /mes. Los valores de los parámetros de contaminación de todos los efluentes líquidos que se generan en esta línea de producción están en las tablas 3-2 y 3-4.

### **Consumo de Vapor de la Línea 3 del Proceso de Embotellado.**

En el balance de vapor se identifica en qué máquina se utiliza vapor y en qué cantidad, al igual que se observa en la figura 2-3, la cantidad de condensado que se recupera y se desperdicia.

Los cálculos para realizar este balance de energía se encuentran en el anexo 10.

El vapor que se utiliza es de 80 psig ( $T^{\circ} = 155.57^{\circ}\text{C}$ ), con un consumo de 1110305.67 Kg. /mes de vapor y se dirige a la lavadora de botellas y pasteurizadora, en donde se necesita calentar el agua para cumplir sus objetivos de lavado y pasteurizado respectivamente.

El vapor para ceder su calor pasa por intercambiadores que están localizados en la lavadora de botellas y pasteurizadora.

Tanto en la pasteurizadora como en la lavadora de botellas el circuito de intercambiador de calor es cerrado.

El condensado que tiene una temperatura de  $91^{\circ}\text{C}$ , se recupera 10285.74 HI. /mes (1028574 Kg. /mes), que constituye un 92.64% de condensado recuperado, este condensado principalmente sale en la lavadora de botellas; se pierde unos 817.32 HI. /mes (81731.67 Kg. /mes) en la pasteurizadora debido a fugas en las tuberías, que corresponden a un 7.36% total del vapor utilizado, cuya pérdida económica es de 982.94 USD/año (81.91 USD/mes), los cálculos de esta pérdida económica se describen en el anexo 6.

El condensado para su recuperación que tiene una temperatura de 91 °C, se lo envía al Proceso de Motrices para que nuevamente se transforme este condensado a vapor, colocando agua de reposición.

### **Consumo de Vapor de la Línea 2 del Proceso de Embotellado.**

Como se observa en la figuras 2-4, la Línea 2 necesita 444810 Kg. /mes de vapor a 80 psig ( $T^{\circ} = 155.57^{\circ}\text{C}$ ), esta cantidad de vapor se reparte en la lavadora de botellas y pasteurizadora.

El condensado que se forma y se recupera con una temperatura de 91°C en la lavadora de botellas es de 4094.25 Hl. /mes (409424.67 Kg. /mes), que constituye en un 92.04% de condensado recuperado, el cual se lo envía de vuelta al Proceso de Motrices para nuevamente transformarlo en vapor.

En esta línea de producción, se pierde 353.85 Hl. /mes (35385.33 Kg. /mes) de condensado, el mismo que corresponde el 7.96% de condensado perdido, esto es debido a que el intercambiador de calor que se encuentra en la pasteurizadora es un circuito abierto, por donde el condensado que se forma se combina con el agua que se encuentra en los tanques de almacenamiento de la pasteurizadora. La pérdida económica es de 425.57 USD /año (35.46 USD/mes), cuyos cálculos se encuentran en el anexo 6.

**NOTA:** El porcentaje global de pérdida de condensado en las 2 líneas de producción es 7.53%, el cual se pierde una parte por fugas existentes en las tuberías en ambas líneas de producción, y otra parte se pierde por el mal diseño del intercambiador de calor en la pasteurizadora de la Línea 2. El cálculo de este porcentaje global de pérdida de condensado se encuentra en el anexo 10.

### **Propiedades Físico-Químicas del Agua que Ingresa al Proceso de Embotellado.**

Estos valores de las propiedades físico-químicas se obtienen de datos promedio facilitados por el laboratorio de control de calidad de la empresa, se consulta los valores de 3 meses de alcalinidad, dureza y pH del agua que utiliza el proceso de embotellado.

El agua general tiene un valor de alcalinidad de 195 ppm  $\text{CaCO}_3$  con una desviación estándar de 1, 123.3 ppm  $\text{CaCO}_3$  de dureza con una dispersión de 7.51 y el valor del pH es 7.5 con una desviación estándar de 0.08.

El agua ablandada tiene un valor de alcalinidad de 184.7 ppm  $\text{CaCO}_3$  con una desviación estándar de 1.53, 2.7 ppm  $\text{CaCO}_3$  de dureza con una dispersión de 1.15 y el valor del pH es 7.5 con una desviación estándar de 0.05.

Se observa en la tabla 2-3 que el pH tanto del agua general como de la ablandada es el mismo, cuyo valor es de 7.5, valor que nos indica que el estado del agua es neutro.

La tabla 2-3 nos indica también que el valor de la alcalinidad del agua general es mayor que el valor de la alcalinidad del agua ablandada en 10.3 ppm  $\text{CaCO}_3$ .

El valor de la dureza del agua general es mucho mayor que el valor de dureza del agua ablandada, cuya diferencia es de 120.6 ppm  $\text{CaCO}_3$ .

El agua ablandada como era de esperar tiene un valor bajo de dureza (2.7 ppm  $\text{CaCO}_3$ ) como se indica en la tabla 2-3.

### **Discusión de Resultados de los Parámetros de Contaminación.**

De acuerdo a los resultados de los análisis que se encuentran en las tablas 3-1, 3-2, 3-3, 3-4, se define las características que posee cada efluente líquido generado en el proceso de embotellado.

Los valores que se observan en las tablas mencionadas anteriormente se los hizo de la siguiente manera: El caudal se determinó y la temperatura se midió in situ, en un período de 18 días y para los análisis químicos conjuntamente con la medición del pH se hizo en 17 días, razón por la cual se formaron alrededor de 17 muestras compuestas.

Se trata con mayor importancia los parámetros de contaminación principal que se encuentran los efluentes líquidos, mientras con los parámetros de contaminación secundarios se dará una breve explicación.

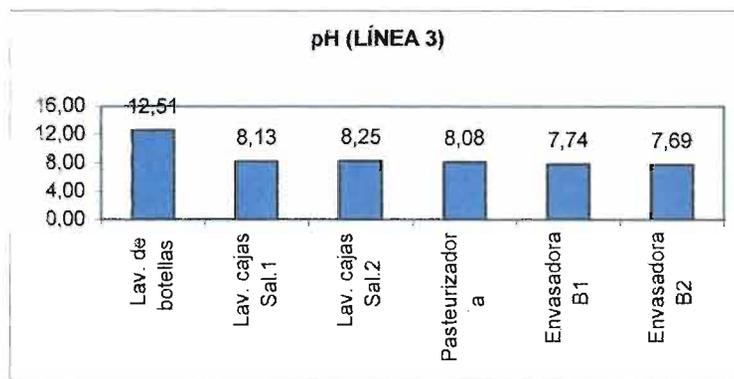
### LÍNEA 3

Los efluentes líquidos generados en la Línea 3 del proceso de embotellado tienen las siguientes características:

#### Parámetros Principales de Contaminación de la Línea 3.

##### pH.

El pH de los efluentes líquidos en su mayoría está dentro de la Norma que está establecida por el Distrito Metropolitano de Quito que es de 5-9 como se indica en la tabla 1-2, salvo el efluente generado en la lavadora de botellas que se sale del valor máximo permisible con un valor de 12.51 como se puede apreciar en el gráfico 3-1. El valor del pH de los efluentes líquidos nos indica que son alcalinos, tendiendo a un valor de pH aproximado de 8.00, mientras que el pH del efluente líquido de la lavadora de botellas se aproxima a 13, esto sucede porque para el proceso de lavado de botellas se utiliza sosa que sale combinado con el agua para generar este efluente.



**Gráfico 3-1 Valor del pH de los Efluentes Líquidos de la Línea 3 del Proceso de Embotellado**

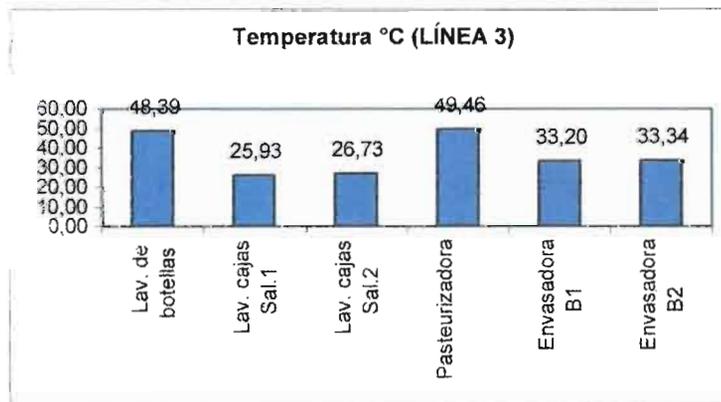
##### Temperatura.

La temperatura de los efluentes líquidos está, en tres rangos de valores, de los cuales los de mayor temperatura son los efluentes de la lavadora de botellas y del de la pasteurizadora con un valor que tiende a los 50°C, luego vienen los efluentes de las envasadoras con sus respectivas bombas de vacío con un valor aproximado de 33°C, por último están los efluentes de la lavadora de cajas cuyo valor son cercanos a la temperatura ambiente del lugar (Cumbayá), que es de 26°C. En el gráfico 3-2 se aprecian los valores exactos de temperatura de los diferentes efluentes líquidos generados en la Línea 3 del Proceso de Embotellado.

Los valores altos de temperatura en la lavadora de botellas es justificable puesto que se utiliza agua caliente, la cual se mezcla con la sosa y así poder sacar de mejor manera todo los sucios y basuras que vienen en las botellas incluido las etiquetas. Mientras que en la pasteurizadora se necesita agua caliente para realizar e proceso de la pasteurización, que llega hasta cerna de los 63°C.

El valor de la temperatura de las envasadoras se debe a que esta agua sirve para el enfriamiento de los tubos donde se genera vacío para poder lograr el envasado correcto de las botellas.

En cuanto a la temperatura de los efluentes líquidos generados en la lavadora de cajas, se puede decir que para esta operación solo se necesita agua fría simplemente para realizar una limpieza de las cajas, eliminando así cualquier basura o suciedad que trae consigo dichas cajas.

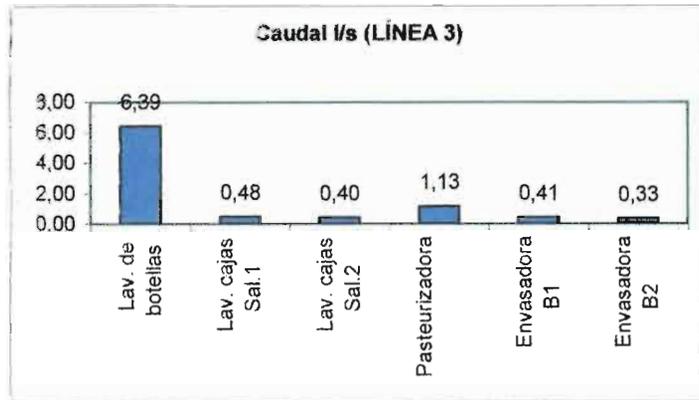


**Gráfico 3-2 Valor de la temperatura de los Efluentes Líquidos de la Línea 3 del Proceso de Embotellado**

### Caudal.

Con este parámetro de contaminación se puede observar cual de estos sale más rápido de su fuente, de los cuales el efluente de la lavadora de botellas sale con más velocidad que los otros efluentes de la Línea 3, le sigue el efluente de la pasteurizadora, luego ya con caudales bajos siguen los efluentes de la lavadora de cajas, y por último están los efluentes de las envasadoras.

Los valores exactos de los caudales de los efluentes líquidos se presentan en el gráfico 3-3, para tener una mejor percepción de cómo se encuentran distribuidos los caudales de cada efluente.

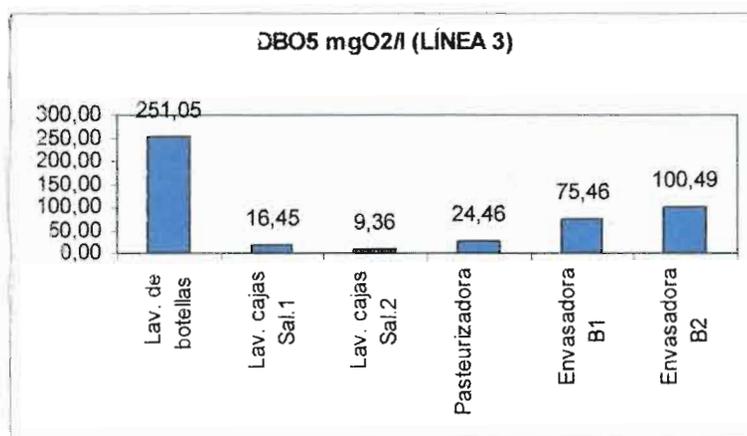


**Gráfico 3-3 Valor del caudal de los Efluentes Líquidos de la Línea 3 del Proceso de Embotellado**

### DBO<sub>5</sub>.

En el gráfico 3-4 se observa que el efluente líquido de la lavadora de botellas tiene mayor valor de DBO<sub>5</sub> que el resto de los efluentes, esto se debe a que en este efluente se va toda la suciedad que trae consigo el interior y exterior de las botellas esto es polvo, tierra, residuos de cerveza, etc.; luego el de mayor DBO<sub>5</sub> son los efluentes de las envasadoras, lo cual se debe a que en estos efluentes hay espuma proveniente de la cerveza al realizar el vacío y con esto conseguir el envasado de la cerveza en la botella; también se observa que el efluente de la pasteurizadora también hay algo de DBO<sub>5</sub> debido a que por la elevada temperatura que se utiliza para el proceso de la pasteurización, algunas botellas se rompen sin terminar así su proceso final de pasteurización y la cerveza se mezcla con el agua de calentamiento, pero esto ocurre en mínima cantidad es por esto que el valor de la DBO<sub>5</sub> no es tan elevado. Por último los valores de la DBO<sub>5</sub> de los efluentes de la lavadora de cajas nos indican que no hay microorganismos o material biodegradable que se encuentren contaminado el agua de estos efluentes.

El valor de la DBO<sub>5</sub> es diferente en los efluentes de las envasadoras pero es comparable. Para el caso de los efluentes de la lavadora de cajas es porque el un efluente se encuentra en la parte inicial del proceso de lavado de cajas y el otro está en la parte final de dicho proceso.



**Gráfico 3-4 Valor de la DBO<sub>5</sub> de los Efluentes Líquidos de la Línea 3 del Proceso de Embotellado**

### DQO.

El gráfico 3-5 nos indica qué efluente está saliendo con mayor concentración al drenaje general de la empresa, siendo el efluente con mayor concentración el de la lavadora de botellas, luego le siguen los efluentes de las envasadoras, le sigue el efluente de la pasteurizadora y por último como efluentes no contaminantes los de la lavadora de cajas.

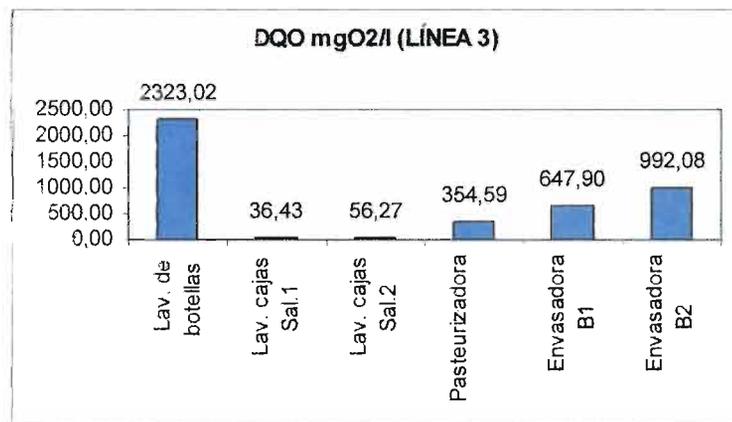
La secuencia de los efluentes que tienen mayor concentración es la misma que se registro en los valores de la DBO<sub>5</sub>, pero en mayor cantidad, esto es lógico puesto que la DBO<sub>5</sub> solo mide los compuesto orgánicos o biológicos, en cambio que la DQO mide todo es decir ya sean los compuestos orgánicos como los inorgánicos, cumpliéndose como siempre que la DQO es siempre mayor que la DBO<sub>5</sub>.

Se explica también que el valor de la DQO del efluente líquido de la lavadora de botellas es demasiado elevado debido a la presencia de la sosa y otras sustancias orgánicas e inorgánicas que se encuentran diluidas en el agua que sale en este efluente; en cuanto a los valores de DQO de los efluentes de las Envasadoras, son relativamente altos y comparables, se puede decir también que el agua utilizada para el enfriamiento de las tuberías que generan el vacío es agua ablanda pero no es desalcalinizada, trayendo consigo algunas sustancias inorgánicas como los carbonatos y bicarbonatos, pero en poca cantidad; el valor de la DQO del efluente de la pasteurizadora es relativamente alto debido a que el agua que se utiliza para el calentamiento es generalmente traída de los tanques de reposición que tienen el agua de los sistema hidráulicos, la cual gana dureza al

pasar por dichos sistemas, también se debe dicho valor al rompimiento de las botellas en el interior de la pasteurizadora debido a la alta temperatura.

Respecto a los efluentes de la lavadora de cajas se puede afirmar aún más que el agua que sale es agua sin ningún contaminante.

La razón por la que el valor de la DQO es diferente de los efluentes de las envasadoras es porque primero, ningún efluente es semejante a otro, cada efluente tiene su propia caracterización, y segundo, porque en el efluente de la primera envasadora, el agua salía sin mucha espuma, y el otro efluente de la segunda envasadora si tenía una mayor cantidad de espuma como se dijo con anterioridad cuando se discutió el valor de la DBO<sub>5</sub>. En el caso de los efluentes de la lavadora de cajas se puede decir que la diferencia radica en que el un efluente se encuentra en la parte inicial del proceso de lavado de cajas y el otro está en la parte final de dicho proceso, como se dijo también en la discusión del valor de la DBO<sub>5</sub>.

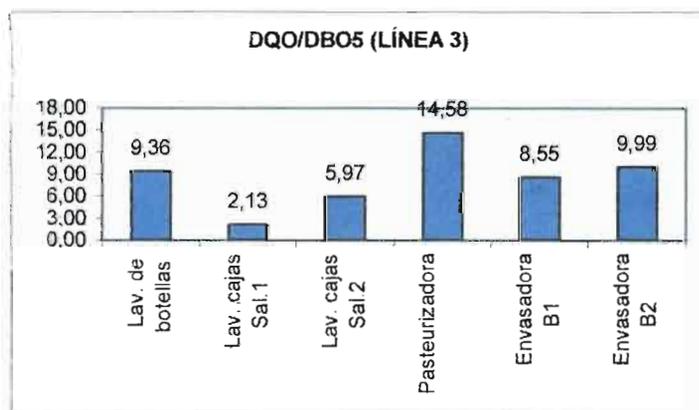


**Gráfico 3-5 Valor de la DQO de los Efluentes Líquidos de la Línea 3 del Proceso de Embotellado**

### DQO / DBO<sub>5</sub>

Mediante el gráfico 3-6 se observa que el efluente de la pasteurizadora tiene mayor índice, el cual nos indica que se tiene una cantidad de la DQO aproximada a 15 veces su DBO<sub>5</sub>, lo cual nos indica que en este efluente hay más compuestos inorgánicos que orgánicos; los efluentes de las envasadoras como el de la lavadora de botellas tienen un valor de 8.55, 9.99 y 9.36 respectivamente, lo que implica que para el un efluente de la envasadora existe un DQO aproximadamente igual o equivalente a 8.55 veces la DBO<sub>5</sub>, en el otro efluente de

la envasadora hay un DQO equivalente a 9.99 veces la DBO<sub>5</sub> y en el efluente de la lavadora de botellas hay un DQO igual a 9.36 veces la DBO<sub>5</sub>; los índices de los efluentes de la lavadora de cajas son de 2.13 y 5.97, y con esto se afirma lo que se había dicho con anterioridad al observar los otros parámetros de contaminación que estos efluentes no traen consigo ningún contaminante y que es agua óptima para su recuperación.



**Gráfico 3-6 Valor del Índice DQO/DBO<sub>5</sub> de los Efluentes Líquidos de la Línea 3 del Proceso de Embotellado**

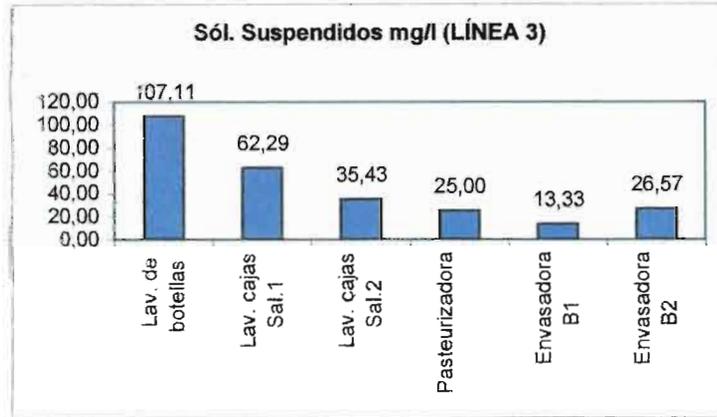
### Sólidos Suspendidos.

Este parámetro de contaminación que se observa en el gráfico 3-7, nos indica que existen sustancias sólidas a más del agua en los distintos efluentes líquidos generados en la Línea 3 del Proceso de Embotellado.

Este parámetro de contaminación nos dice que el efluente líquido de la lavadora de botellas es el que tiene más sustancias sólidas, luego le sigue el un efluente de la lavadora de cajas, a continuación está el otro efluente de la lavadora de cajas con, luego viene los efluentes de las envasadoras.

La razón por la que el fluente líquido de la lavadora de botellas tiene mayor cantidad de sólidos suspendidos porque en este efluente tiene todas las suciedades y basura que traen consigo las botellas, también se viene las trazas de pegamento que traen las etiquetas; en cuanto a los efluentes de la lavadora de cajas, se diferencia debido a que en el efluente de la Salida 2, se empieza a meter las cajas para su limpieza, y en la zona que se encuentra el efluente de la salida 1 ya es donde termina el proceso de lavado de las c ajas, razón por la cual todas

las suciedades que no salen en la zona del inicio, salen al final de la zona donde se termina el lavado de cajas.



**Gráfico 3-7 Valor de los Sólidos Suspendidos de los Efluentes Líquidos de la Línea 3 del Proceso de Embotellado**

## LÍNEA 2

Los efluentes líquidos generados en la Línea 2 del proceso de embotellado tienen las siguientes características:

### Parámetros Principales de Contaminación de la Línea 2.

#### pH.

El valor del pH en todos los efluentes líquidos que se generan en la Línea 2 en su mayoría presenta un valor básico, a excepción del efluente de la envasadora, cuyo valor se aproxima a 8.00.

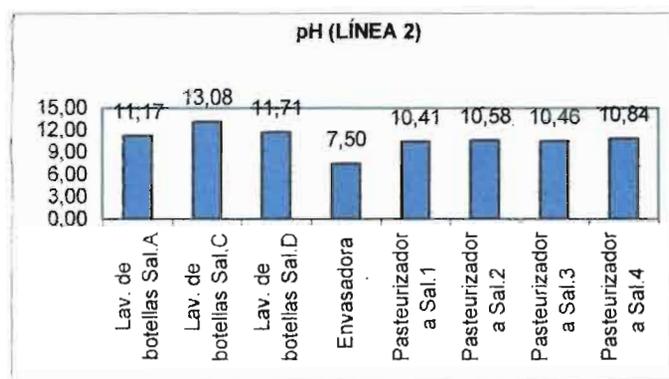
La lavadora de botellas presenta en la salida A un pH de 11.17 producto de que esta agua proviene del tanque de prelavado y este es alimentado tanto por el agua procedente de la salida D que se recupera en una cisterna que tienen un pH un poco más básico del efluente que estamos refiriéndonos y del agua tanto general como ablandada cuyo pH es de 7.5 como se puede observar en la tabla 1-17, razón por la cual el pH de la salida A no es igual al de la salida D.

El efluente líquido de la salida C de la lavadora de botellas es el más básico ya que tiene un valor de 13.08, esto se debe a que en esta zona está los tanques que se pone la sosa para la correcta limpieza de las botellas, por lo que este efluente es en su mayoría sosa diluida.

Los efluentes de la pasteurizadora tienen un pH promedio de 10.57, estando los valores de cada efluente en la tabla 3-2 o en el gráfico 3-8. La razón por la que

estos efluentes tienen un pH básico es porque a la pasteurizadora le alimentan con agua ablandada para llenar los tanques y arrancar el proceso de pasteurización, para luego poner el agua procedente de la piscina que tiene el agua que se recupera de la salida D de la lavadora de botellas.

Se puede observar los diferentes valores que poseen los efluentes líquidos generados en la Línea 2 en el gráfico 3-8.



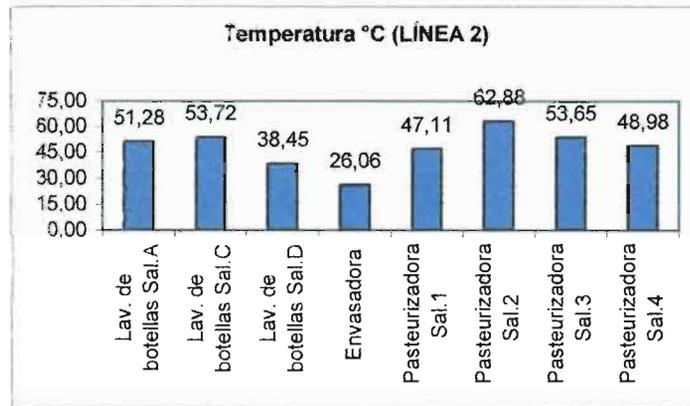
**Gráfico 3-8 Valor del pH de los Efluentes Líquidos de la Línea 2 del Proceso de Embotellado**

### Temperatura.

El valor de este parámetro de contaminación depende del proceso en que están situados los efluentes líquidos de la Línea 2 del proceso de embotellado.

Es por eso que para la correcta limpieza de las botellas los efluentes de las salidas A y C de la lavadora de botellas que corresponden a las zonas de prelavado y lavado tienen una temperatura superior al efluente que corresponde a la zona de enjuague, donde simplemente se lo hace con agua de menor temperatura cuyo valor es cercano a la temperatura ambiente.

El efluente líquido de la envasadora tiene una temperatura aproximadamente igual a la de la ambiente, como se observa en el gráfico 3-9, en cuanto a las temperaturas de los efluentes de la pasteurizadora, su valor corresponde a la zonas de pre-enfriamiento que corresponde a la salida 1, “super calentamiento” que es la salida 2, la pasteurización es el efluente de la salida 3 y la zona de enfriamiento es el de la salida 4, como se puede observar en el gráfico 3-9.



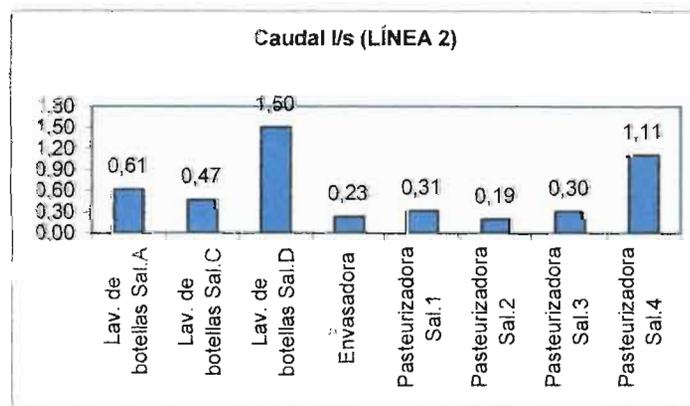
**Gráfico 3-9 Valor de la temperatura de los Efluentes Líquidos de la Línea 2 del Proceso de Embotellado**

### Caudal.

En el gráfico 3-10 se observa cuales son los efluentes líquidos que salen con mayor rapidez en la Línea 2.

Los efluentes que salen con mayor rapidez son el de la salida D de la lavadora de botellas con un valor de 1.50 l/s y el de la salida 4 de la pasteurizadora cuyo caudal es de 1.11 l/s.

El caudal del efluente de la envasadora es inferior a los caudales que tenían los otros efluentes de las 2 envasadoras de la Línea 3, esta diferencia se puede observar en el gráfico 3-3 y 3-10.



**Gráfico 3-10 Valor del caudal de los Efluentes Líquidos de la Línea 2 del Proceso de Embotellado**

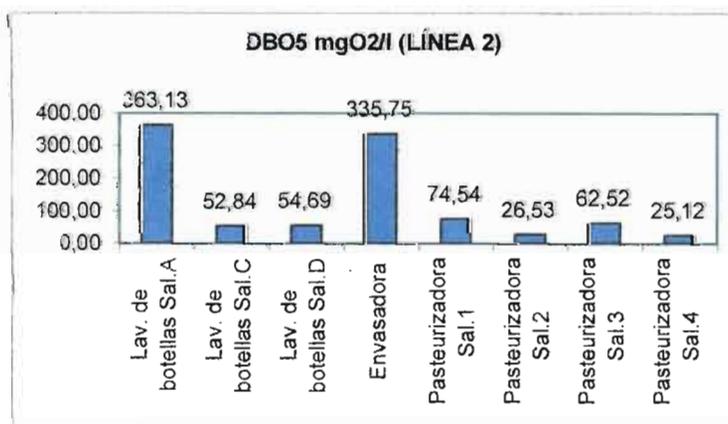
**DBO<sub>5</sub>**

Mediante el valor de este parámetro de contaminación se puede interpretar el contenido biológico que tiene cada efluente líquido.

Los efluentes que poseen mayor DBO<sub>5</sub>, es el de la salida A de la lavadora de botellas y el de la envasadora, la razón es que en el primer efluente mencionado corresponde a la zona donde se procede a dar una ligera limpieza, por lo que el agua de este efluente trae consigo toda clase de impurezas orgánicas que se traen consigo las botellas sucias, en cambio el efluente de la envasadora tiene un alto valor de DBO<sub>5</sub> debido a que este trae consigo mucha espuma proveniente de la cerveza que se envasa.

Como se observa en el gráfico 3-11 los demás efluentes no tienen demasiada DBO<sub>5</sub>, debido principalmente a la elevada temperatura y al estado básico que presentan los efluentes líquidos, condiciones muy severas para que algún microorganismo pueda existir.

Los valores de la DBO<sub>5</sub> de las salidas C y D de la lavadora de botellas tienen un valor parecido de aproximadamente alrededor de los 50 mg O<sub>2</sub>/l, mientras que en los efluentes de la pasteurizadora el de la salida 2 y 4 son valores semejantes y cercanos cuya diferencia es de apenas 1.41 mg O<sub>2</sub>/l. Los efluentes de la salida 1 y 3 son de mayor valor de DBO<sub>5</sub> cuya diferencia es de 12.02 mg O<sub>2</sub>/l de la salida 1 respecto a la salida 3 y de 48.72 mg O<sub>2</sub>/l para las otras salidas de la misma pasteurizadora.



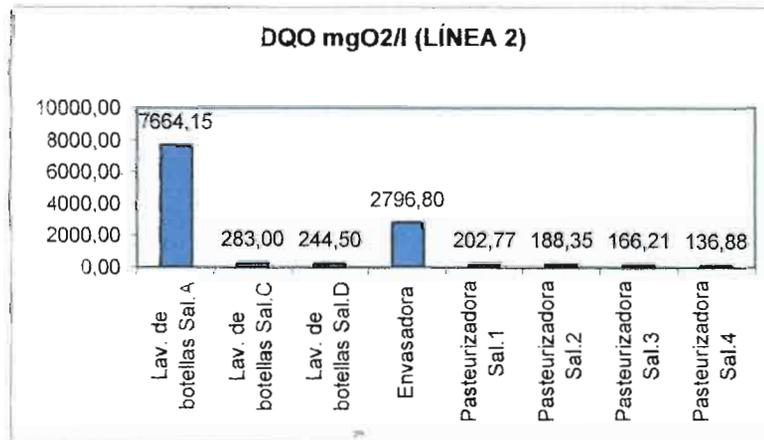
**Gráfico 3-11 Valor de la DBO<sub>5</sub> de los Efluentes Líquidos de la Línea 2 del Proceso de Embotellado**

### DQO.

El efluente líquido en la salida A de la lavadora de botellas tiene un valor de DQO muy superior a los de las salidas C y D de la misma máquina, cuya diferencia es de 7381.15 y 7419.65 mg O<sub>2</sub>/l de la salida A con respecto a las salidas C y D respectivamente, esto se debe a que el efluente de la salida A trae consigo además de contaminantes biológicos, trae muchas sustancias inorgánicas, producto de lo dicho anteriormente en el valor del DBO<sub>5</sub>, con esto que nos indica que este efluente es muy contaminante para poder primeramente recuperarlo y para notar que es una contaminación fuerte para el medio ambiente.

La salida C de la lavadora de botellas presenta también un valor alto de la DQO respecto a su caudal que es bajo. Este caso también sucede en el de la envasadora, pero en este caso es más crítico porque el valor de la DQO de la salida de la envasadora es muy superior al de la salida C de la lavadora de botellas cuya diferencia es de 2513.8 mg O<sub>2</sub>/l, con esto se nota que el de la salida de la envasadora también constituye una seria contaminación ambiental.

Respecto a los efluentes de la pasteurizadora tienen valores de DQO cuyo promedio es de 173.55 mg O<sub>2</sub>/l, donde los valores puntuales de este parámetro se observan en el gráfico 3-12.



**Gráfico 3-12 Valor de la DQO de los Efluentes Líquidos de la Línea 2 del Proceso de Embotellado**

Como se observa en el gráfico 3-12 el efluente de la salida A de la lavadora de botellas presenta un 66% del total de la contaminación inorgánica existente al tomar en cuenta todos los efluentes líquidos generados en la Línea 2, luego le

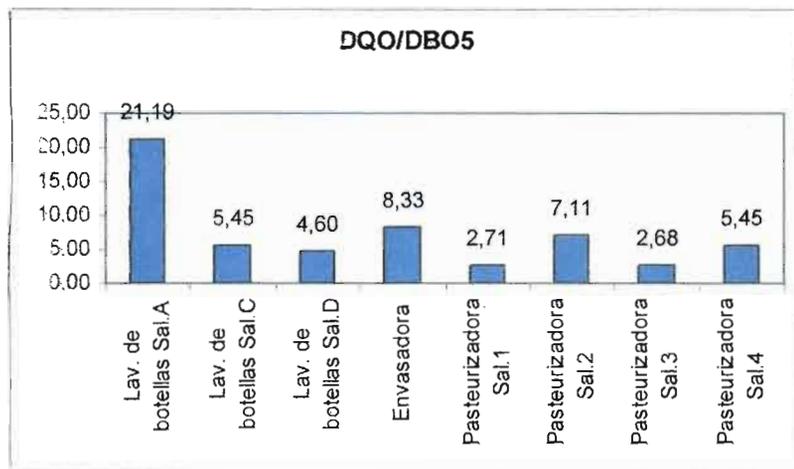
sigue con un porcentaje de 24% de contaminación, el efluente de la envasadora, los demás tienen un porcentaje de 2% y 1% de contaminación inorgánica.

También se puede decir que los efluentes de la pasteurizadora presentan un DQO que confirma que esta agua es procedente de la piscina donde se recupera el efluente de la salida D en la lavadora de botellas, cuyo valor es de 244.50 mg O<sub>2</sub>/l y los de la pasteurizadora presentan un DQO cuyo promedio es de 173.55 mg O<sub>2</sub>/l.

### DQO / DBO<sub>5</sub>.

En el gráfico 3-13 se nota la relación que existe entre la DQO y la DBO<sub>5</sub>. De lo cual se observa que en el efluente de la salida A en la lavadora de botellas hay un valor de DQO de aproximadamente 21.19 veces mayor que la DBO<sub>5</sub>, y nos indica que existe más contaminantes inorgánicos que orgánicos.

Luego sigue el efluente de la envasadora que nos indica que la contaminación inorgánica supera en 8.33 a la contaminación biológica.



**Gráfico 3-13 Valor del Índice DQO/DBO<sub>5</sub> de los Efluentes Líquidos de la Línea 2 del Proceso de Embotellado**

Procediendo con los otros efluentes, sigue con una relación de 7.11 el efluente de la salida 2 en la pasteurizadora, indicando que existe un DQO mayor que la DBO<sub>5</sub> en la magnitud mencionada anteriormente. Como se aprecia en el gráfico 3-13 hay dos efluentes líquidos que tienen un DQO mayor que 5.45 veces que la DBO<sub>5</sub>, otro con 4.60 que es el de la salida D en la lavadora de botellas y por último existen dos efluentes que tienen una relación promedio de 2.69, estos son los de la pasteurizadora.

### Sólidos Suspendidos.

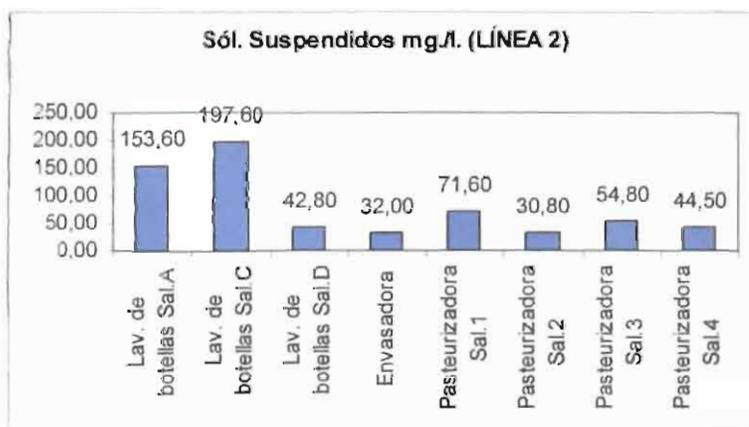
El gráfico 3-14 nos indica que el efluente de la salida C y A en la lavadora de botellas poseen la mayor contaminación, respecto a la cantidad sólida que traen dichos efluentes líquidos.

La salida C posee la mayor cantidad de sólidos suspendidos debido a que este efluente viene de la zona donde se lava las botellas con la ayuda de sosa, agua y una elevada temperatura, es por esto que aquí se tiene muchas trazas provenientes del pegamento puesto en las etiquetas para el reconocimiento de marca y cantidad de cerveza que se encuentran en las diferentes botellas que se lavan.

El efluente de la salida A posee esa cantidad de sólidos suspendidos porque como es la parte de prelavado, el agua trae muchas sustancias sólidas que provienen de las botellas como tierra y polvo.

La diferencia de la cantidad de sólidos suspendidos que hay en la salida C y A es de 44 mg/l.

El efluente líquido que pertenece a la salida D de la lavadora de botellas tiene bajo contenido puesto que la zona que pertenece esta salida es solo para enjuagar a las botellas luego de someterlas al lavado con sosa, y como es enjuague ya todas las partículas sólidas que traen las botellas son eliminadas en la zona de pre-lavado y lavado.



**Gráfico 3-14 Valor de los Sólidos Suspendidos de los Efluentes Líquidos de la Línea 2 del Proceso de Embotellado**

En la salida de la envasadora como era de esperarse no tiene muchos sólidos porque esta agua solo sirve para enfriamiento de las tuberías donde se realiza el

vacio es por eso que tiene la segunda cantidad de sólidos más pequeña entre todos los demás efluentes líquidos generados en la Línea 2.

Los efluentes de la pasteurizadora presentan cada uno su cantidad de sólidos suspendidos producto posiblemente de los sólidos que se encuentran en cada tanque donde se almacena el agua para su respectivo calentamiento.

### **3.3 Selección de los Efluentes Líquidos que pueden ser Recuperados en el Proceso de Embotellado.**

De acuerdo a los resultados de los análisis, se selecciona los efluentes líquidos que pueden ser recuperados en el proceso de embotellado tanto en la Línea 3 como en la Línea 2; se consideran algunos de los parámetros de contaminación principales como son: caudal, DQO, DBO<sub>5</sub>, sólidos suspendidos y el pH para asegurar la compatibilidad que traen consigo los efluentes líquidos seleccionados al momento de mezclarse en el tanque y cisterna de recuperación.

En el primer y segundo criterio se toma en cuenta que el día de trabajo de esta empresa es de aproximadamente de 16 horas.

Un primer criterio para la selección de todos los efluentes líquidos posibles de recuperar es determinar en forma simultánea:

- Si la carga es baja.
- Valor del caudal.

Con los resultados que están anotados en las tablas 3-1 y 3-2, se procede a calcular la respectiva carga de los efluentes líquidos, con la finalidad de poder aplicar con esos datos el primer criterio de selección.

Para calcular la carga se usa o se utiliza la relación:

$$Carga = DQO * caudal * fc$$

#### **Ecuación 3-1 Relación para realizar el cálculo de la Carga**

Donde: DQO = mgO<sub>2</sub>/l.

Caudal = l/s.

Carga = Kg. /día.

Factor de conversión (fc) = 0.0576

Un segundo criterio es determinar en forma simultánea:

- Si la carga combinada es baja.
- Valor del caudal.

La carga combinada es simplemente la utilización en conjunto de los parámetros de contaminación principales como la DBO<sub>5</sub>, DQO y sólidos suspendidos. Esta carga combinada está dada o establecida por la Dirección de Medio Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito.

La relación para poder calcular la carga combinada es la siguiente:

$$Carga\ combinada = fc * caudal * \left( \frac{2 * DBO_5 + DQO}{3} + SS \right)$$

### Ecuación 3-2 Relación para realizar el cálculo de la Carga Combinada

Donde: DQO = mgO<sub>2</sub>/l.

DBO<sub>5</sub> = mgO<sub>2</sub>/l.

SS = sólidos suspendidos en mg/l.

Caudal = l/s.

Carga = Kg. /día.

Factor de conversión (fc) = 0.0576

Los resultados obtenidos utilizando las ecuaciones 3-1 y 3-2 para poder aplicar los dos criterios mencionados anteriormente se muestran en las tablas 3-5 y 3-6 para los efluentes líquidos generados en la Línea 3 y las tablas 3-7 y 3-8 para los efluentes líquidos generados en la Línea 2.

**Tabla 3-5 Resultados del Primer Criterio de Selección para los Efluentes Líquidos generados en la Línea 3**

	Caudal (l/s)	DQO(mgO <sub>2</sub> /l)	Carga (Kg./día)
Lav. de botellas	6,39	2323,02	854,39
Lav. cajas Sal.1	0,48	36,43	1,00
Lav. cajas Sal.2	0,40	56,27	1,31
Pasteurizadora	1,13	354,59	23,11
Envasadora B1	0,41	647,90	15,31
Envasadora B2	0,33	992,08	18,73

**Tabla 3-6 Resultados del Segundo Criterio de Selección para los Efluentes Líquidos generados en la Línea 3**

	Caudal (l/s)	DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /l)	DQO (mgO <sub>2</sub> /l)	Sól. Suspendidos (mg/l)	Carga Combinada (Kg./día)
Lav. de botellas	6,39	251,05	2323,02	107,11	385,75
Lav. cajas Sal.1	0,48	16,45	36,43	62,29	2,35
Lav. cajas Sal.2	0,40	9,36	56,27	35,43	1,40
Pasteurizadora	1,13	24,46	354,59	25,00	10,40
Envasadora B1	0,41	75,46	647,90	13,33	6,61
Envasadora B2	0,33	100,49	992,08	26,57	8,01

**Tabla 3-7 Resultados del Primer Criterio de Selección para los Efluentes Líquidos generados en la Línea 2**

	Caudal (l/s)	DQO(mgO <sub>2</sub> /l)	Carga (Kg./día)
Lav. de botellas Sal.A	0,61	7664,15	269,80
Lav. de botellas Sal.C	0,47	283,00	7,61
Lav. de botellas Sal.D	1,50	244,50	21,12
Envasadora	0,23	2796,80	36,28
Pasteurizadora Sal.1	0,31	202,77	3,62
Pasteurizadora Sal.2	0,19	188,35	2,10
Pasteurizadora Sal.3	0,30	166,21	2,90
Pasteurizadora Sal.4	1,11	136,88	8,71

**Tabla 3-8 Resultados del Segundo Criterio de Selección para los Efluentes Líquidos generados en la Línea 2**

	Caudal (l/s)	DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /l)	DQO (mgO <sub>2</sub> /l)	Sól. Suspendidos (mg/l)	Carga Combinada (Kg./día)
Lav. de botellas Sal.A	0,61	363,13	7664,15	153,60	103,86
Lav. de botellas Sal.C	0,47	52,84	283,00	197,60	8,80
Lav. de botellas Sal.D	1,50	54,69	244,50	42,80	13,89
Envasadora	0,23	335,75	2796,80	32,00	15,41
Pasteurizadora Sal.1	0,31	74,54	202,77	71,60	3,38
Pasteurizadora Sal.2	0,19	26,53	188,35	30,80	1,24
Pasteurizadora Sal.3	0,30	62,52	166,21	54,80	2,65
Pasteurizadora Sal.4	1,11	25,12	136,88	44,50	6,80

Como se puede observar en las tablas 3-5,3-6,3-7 y 3-8, los dos criterios coinciden para poder seleccionar los efluentes líquidos que van a ser recuperados y reutilizados.

Se observa también que el efluente líquido de la salida D en la lavadora de botellas de la Línea 2, presenta un valor de carga bajo en relación al valor del caudal que tiene este efluente tanto para el primer y segundo criterio de selección, por lo que podría ser uno de los efluentes líquidos ha seleccionarse. Sin embargo

este efluente ya esta siendo recuperado y reutilizado en la misma Línea 2, la razón por la que se hizo el análisis de este efluente es para comprobar que esta agua es apta para su respectiva recuperación y recirculación.

Como el efluente de la salida D en la lavadora de botellas de la Línea 2, no da ningún problema para su recuperación, se toma como referencia esta relación de carga – caudal, para identificar cual de los otros efluentes líquidos pueden ser recuperados y reutilizados.

Al efluente líquido de la salida C en la lavadora de botellas (Línea 2), no se selecciona porque a pesar de que tiene baja carga, se puede observar los valores de parámetros secundarios principalmente los sólidos totales, disueltos y sedimentables (tabla 3-4), son realmente altos.

Los efluentes líquidos que van a ser recuperados y reutilizados, son aquellos que poseen la menor cantidad de carga con relación al valor del caudal, tanto para el primer criterio como para el segundo, son los siguientes:

**Tabla 3-9 Efluentes Líquidos generados en el Proceso de Embotellado seleccionados para la Recuperación y Recirculación**

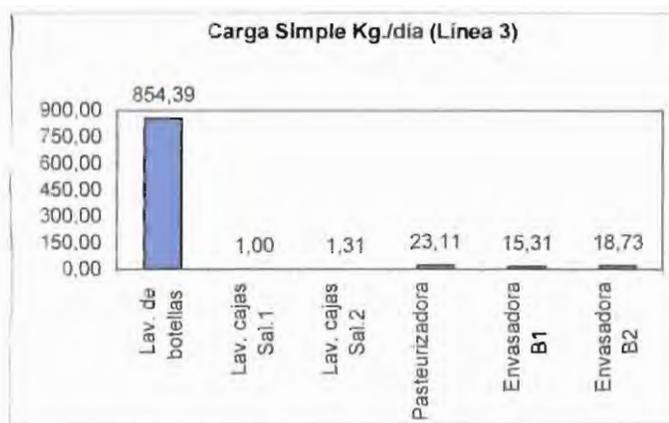
Línea 3	Línea 2
Lavadora de cajas salida 1	Pasteurizadora salida 1
Lavadora de cajas salida 2	Pasteurizadora salida 2
Pasteurizadora	Pasteurizadora salida 3
	Pasteurizadora salida 4

### **Discusión de los Resultados de la Carga Simple y Carga Combinada**

Para determinar el grado de contaminación de los diferentes efluentes líquidos se utiliza el criterio de carga simple y carga combinada.

Con respecto a la carga simple se concluye que en la Línea 3, y como se observa en el gráfico 3-15, el efluente líquido con mayor grado de contaminación es el de la lavadora de botellas con un valor de 854.39 Kg. /día, cuyo valor se relaciona con su valor de caudal, a continuación están los efluentes de las envasadoras con un valor de 15.31 y 18.73 Kg. /día, que corresponde a la envasadora 1 y envasadora 2 respectivamente, porque a pesar de que estos efluentes poseen un bajo caudal, su carga es muy elevada; luego sigue el efluente líquido de la pasteurizadora que tiene 23.11 Kg. /día de carga simple, el cual relacionado con

el valor de su caudal, es un efluente que no causa fuerte contaminación; los efluentes de la lavadora de cajas no tienen alto poder contaminante, ya que poseen un valor de 1 y 1.31 Kg. /día, que más bien constituyen a una agua libre de impurezas.



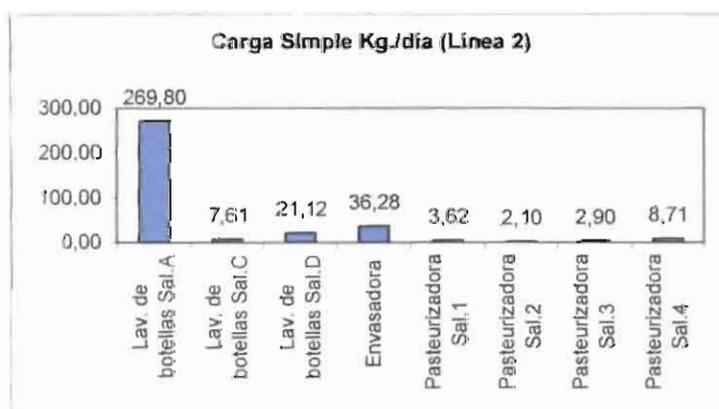
**Gráfico 3-15 Valor de la Carga Simple de los Efluentes Líquidos en la Línea 3 del Proceso de Embotellado**

Con relación al criterio de la carga combinada y que se observa en el gráfico 3-16, también el efluente líquido de la lavadora de botellas constituye el de mayor poder contaminante con respecto a los otros efluentes que se generan en la Línea 3 de producción con un valor de 385.75 Kg. /día, le siguen los efluentes de las 2 envasadoras con 6.61 y 8.01 Kg. /día, el efluente de la pasteurizadora cuyo valor es de 10.40 Kg. /día, que considerando el valor de su caudal, esta carga no genera mucha contaminación, por último son los efluentes líquidos de la lavadora de cajas cuyo poder de contaminación es nulo puesto que sus cantidades de carga combinada es de 2.35 y 1.40 Kg. /día.



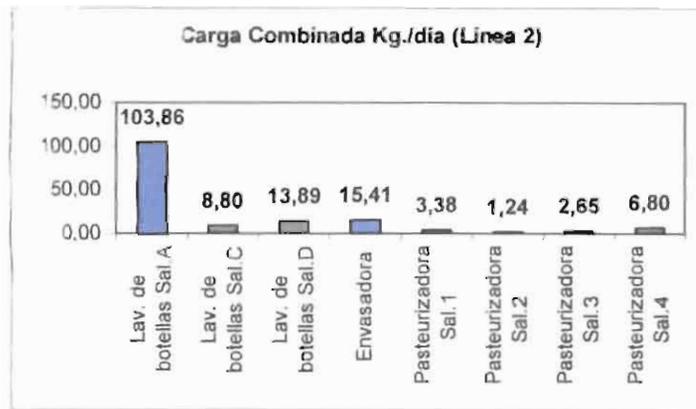
**Gráfico 3-16 Valor de la Carga Combinada de los Efluentes Líquidos en la Línea 3 del Proceso de Embotellado**

En la Línea 2 con respecto al criterio de la carga simple, se observa en el gráfico 3-17, que los efluentes líquidos que poseen mayor poder contaminante son el efluente de la lavadora de botellas con un valor de 269.80 Kg. /día que es el de la salida A, luego le sigue el de la envasadora que a pesar de que su valor es bajo (0.23 l/s), su carga es de 36.28 Kg. /día, el siguiente efluente con poder contaminante es la salida C de la lavadora de botellas cuya carga es de 7.61 Kg. /día, considerando que este efluente posee un bajo caudal (0.47 l/s); los efluentes líquidos que tienen un bajo poder contaminante son los efluentes de la pasteurizadora y el efluente de la salida D en la lavadora de botellas.



**Gráfico 3-17 Valor de la Carga Simple de los Efluentes Líquidos en la Línea 2 del Proceso de Embotellado**

Con respecto al criterio de la carga combinada, al observar el gráfico 3-18, el efluente líquido que tiene mayor poder contaminante es el de la salida A en la lavadora de botellas con un valor de 103.86 Kg. /día, le sigue el efluente de la envasadora con 15.41 Kg. /día, a continuación tenemos el de la salida C en la lavadora de botellas con un valor de 8.80 Kg. /día considerando que su caudal es bajo (0.47 l/s), con este criterio también los efluentes de menor contaminación son los efluentes de la pasteurizadora y el efluente de la salida D en la lavadora de botellas.



**Gráfico 3-18 Valor de la Carga Combinada de los Efluentes Líquidos en la Línea 2 del Proceso de Embotellado**

### 3.4 Determinación y Diseño de los Equipos para la Recuperación y Reutilización de los Efluentes Líquidos en el Proceso de Embotellado.

El diseño de los equipos para la recuperación y reutilización de los efluentes líquidos seleccionados, se refiere al dimensionamiento y ubicación de los mismos.

#### **Sistema de Recuperación y Reutilización para la Línea 3.**

Para la Línea 3 del proceso de embotellado, los efluentes que van a ser recuperados y que se encuentran anotados en la tabla 3-9, los cuales son llevados con ayuda de tubería y bombas primero a una torre de enfriamiento para bajar su temperatura desde 39°C a 28°C, luego esta agua enfriada se envía a un tanque de almacenamiento, el cual tiene una capacidad de 3000l.

El tiempo que tiene que estar abierta completamente la válvula de agua ablandada es de 64.44 min. (1h 4min), el tiempo de retención del agua recuperada en el relleno de la torre de enfriamiento es 4.97 min. y el tiempo de retención para un volumen de 1500 litros de agua recuperada en el tanque de recirculación es 12.44 min. (12min. 26seg.).

El caudal de agua ablandada que seguirá ingresando a la L-3 es 3.15 l/s.

La cantidad total de agua de reposición por pérdidas evaporativas es 0.288 l/s.

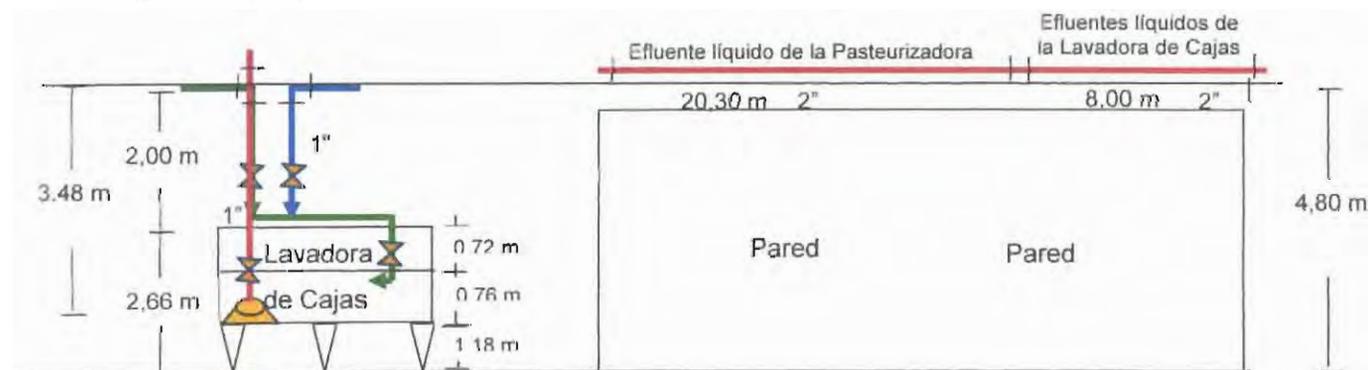
El agua que se va a reutilizar va al tanque de almacenamiento de la lavadora de cajas y a los tanques de almacenamiento en la pasteurizadora, para enfriamiento y nivelación de estos.

Cabe recalcar que la torre de enfriamiento y el tanque de almacenamiento deberán ser ubicados en la parte exterior de la Línea 3 por donde se encuentra los tanques de almacenamiento de sosa diluida y el transformador de energía eléctrica.

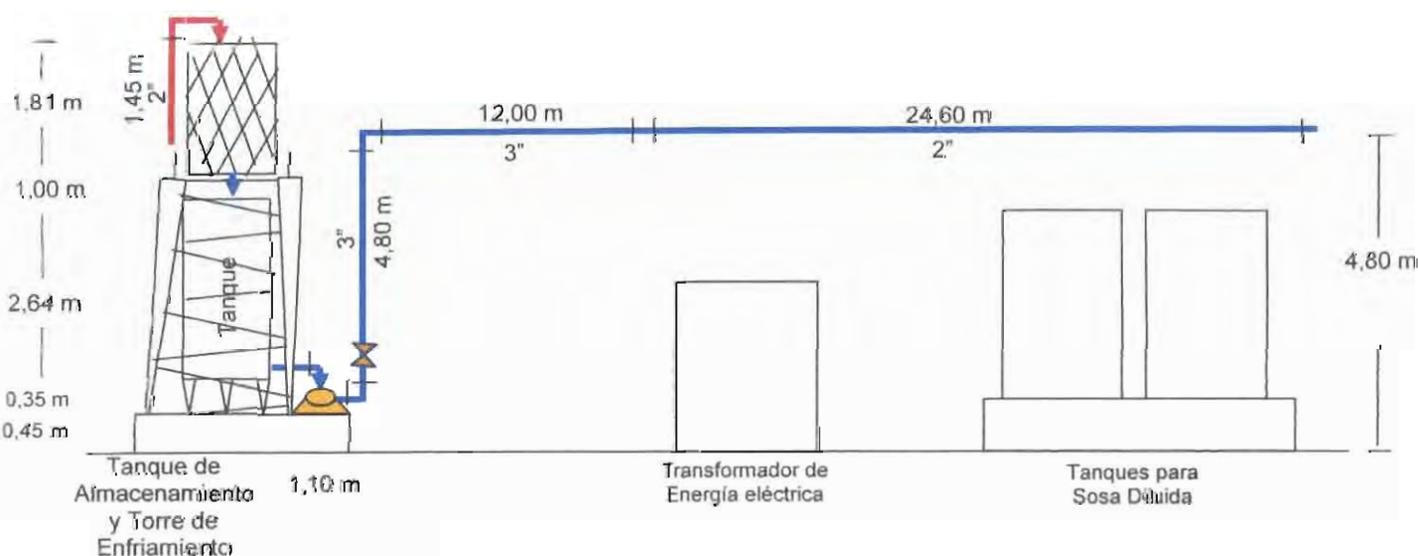
Los cálculos para obtener los datos mencionados se encuentran en el anexo 1.

La descripción del proceso de operación para el sistema de recuperación y reutilización en la Línea 3 se encuentra en el anexo 7.

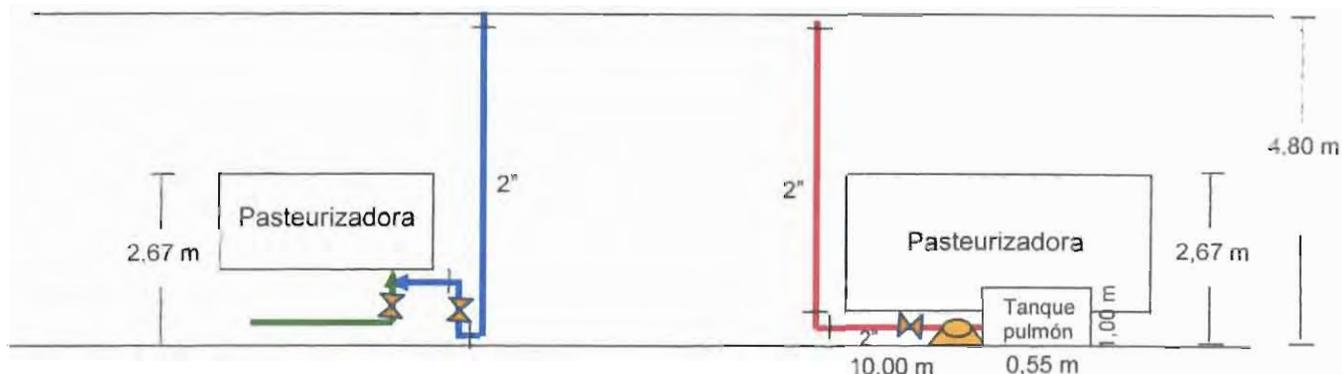
La siguiente propuesta se observa en las siguientes figuras:



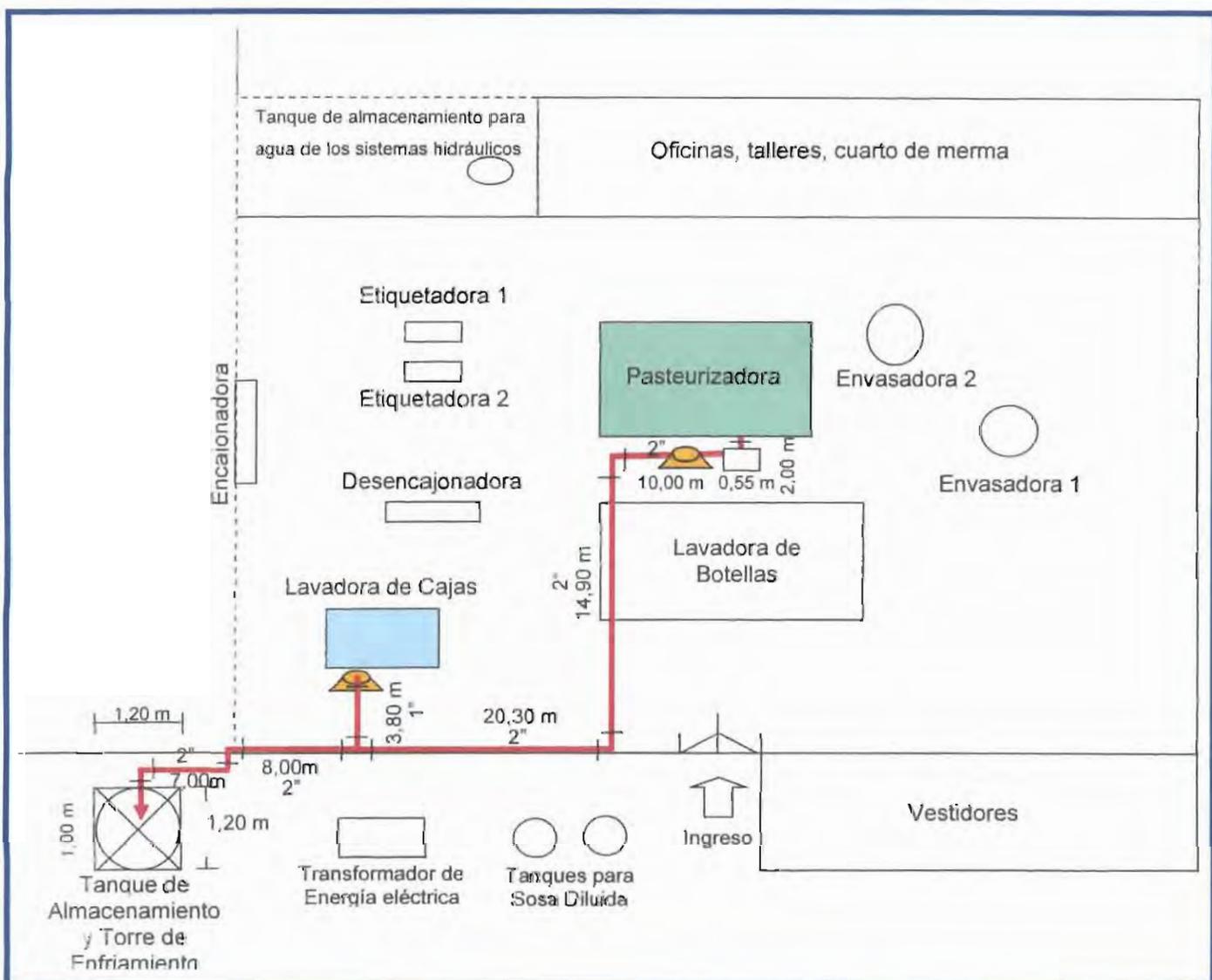
**Figura 3-1** Vistas Frontal y Posterior de la Lavadora de Cajas en la Línea 3 para la Recuperación y Reutilización.



**Figura 3-2** Vista Frontal de la Parte de Afuera en la Línea 3 para la Recuperación y Reutilización



**Figura 3-3 Vistas Frontal del lado izquierdo y derecho de la Pasteurizadora en la Línea 3 para la Recuperación y Reutilización**



**Figura 3-4 Diagrama Esquemático de la Recuperación de los Efluentes Líquidos en la Línea 3 del Proceso de Embotellado**



### Sistema de Recuperación y Reutilización para la Línea 2.

Los efluentes líquidos que van a ser recuperados en la Línea 2, y que se los nombra en la tabla 3-9, se los lleva con la ayuda de tuberías y bombas primero a una torre de enfriamiento para bajar su temperatura desde 51°C a 38°C, luego esta agua enfriada se envía a una cisterna que se encuentra en la parte superior a lado de la Línea 1 la cual está fuera de servicio; a esta cisterna llega agua proveniente de otra cisterna que almacena agua del efluente líquido de la salida D en la lavadora de botellas; a este efluente líquido se lo va a recircular mediante un circuito interno en la lavadora de botellas para que esta agua vaya al tanque cero (zona de pre-lavado) de la misma máquina.

El volumen de la cisterna de recuperación que se encuentra instalada a lado de la Línea 1 es 6290l.

El tiempo que tiene que estar abierta completamente la válvula de agua general es de 101.38 min. (1h 40 min.), el tiempo de retención del agua recuperada en contacto con el relleno de la torre de enfriamiento es 3.57 min. y el tiempo retención para un volumen de 3140 litros de agua recuperada en la cisterna es 27.44 min. (27min. 26seg.).

El caudal de agua general que sigue ingresando a la L-2 es 0.31 l/s.

La cantidad total de agua de reposición por pérdidas evaporativas es 0,126 l/s.

El agua recuperada se la envía con la ayuda de la gravedad desde la cisterna a los tanques de almacenamiento de la pasteurizadora, para enfriamiento y nivelación de estos.

Los cálculos para obtener los datos mencionados se encuentran en el anexo 1.

La descripción del proceso de operación para el sistema de recuperación y reutilización en la Línea 2 se encuentra en el anexo 7.

La siguiente propuesta se observa en las siguientes figuras:

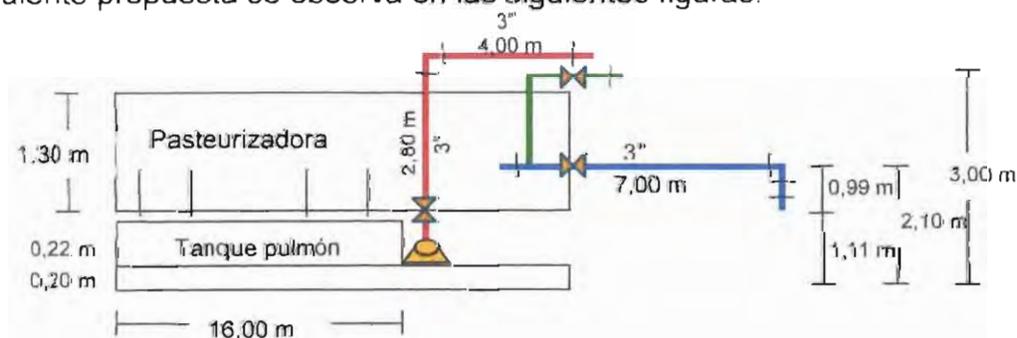
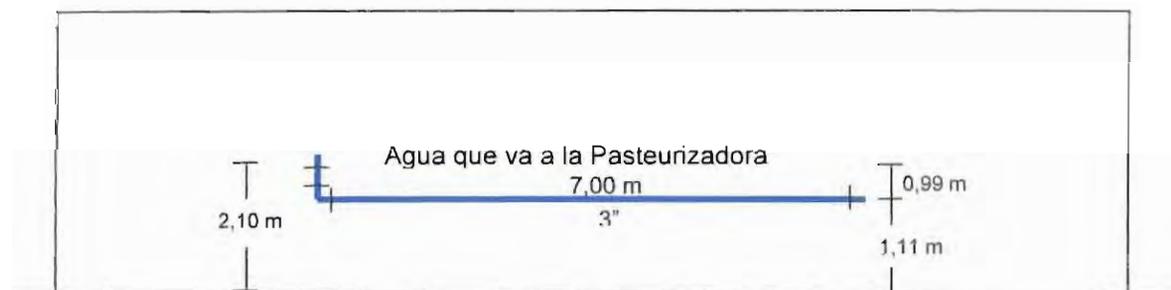
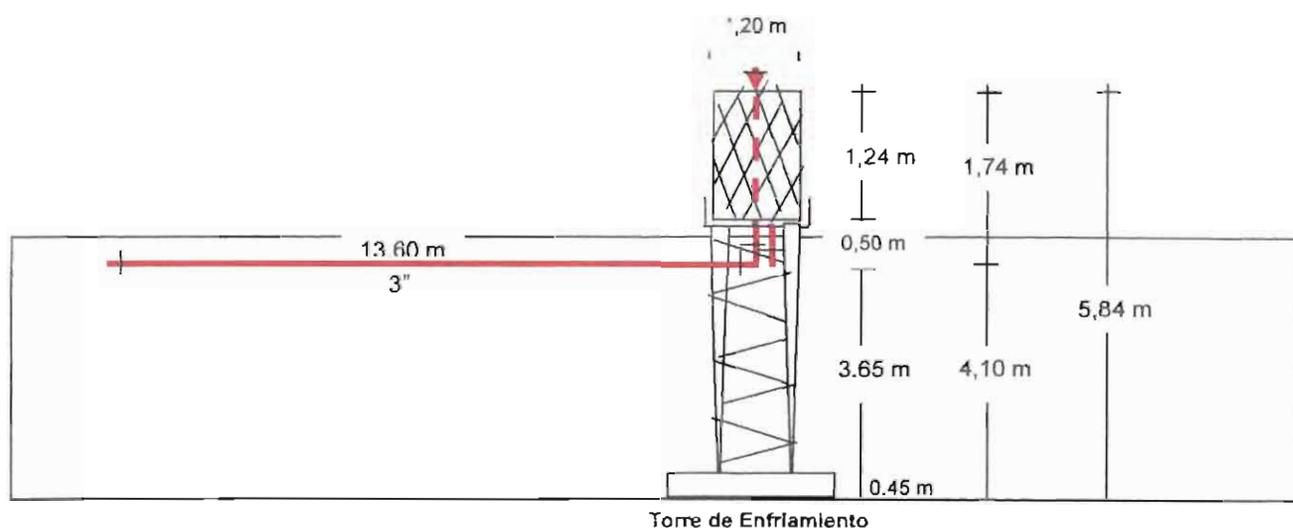


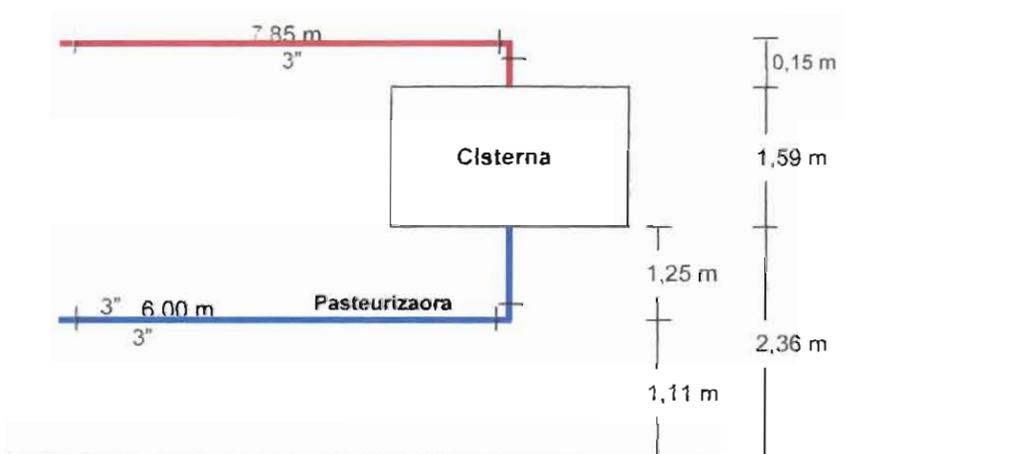
Figura 3-6 Vista Frontal de la Pasteurizadora Lado Derecho en la Línea 2



**Figura 3-7 Vista Lateral de la Pasteurizadora Lado Derecho en la Línea 2 para la Recuperación y Reutilización**

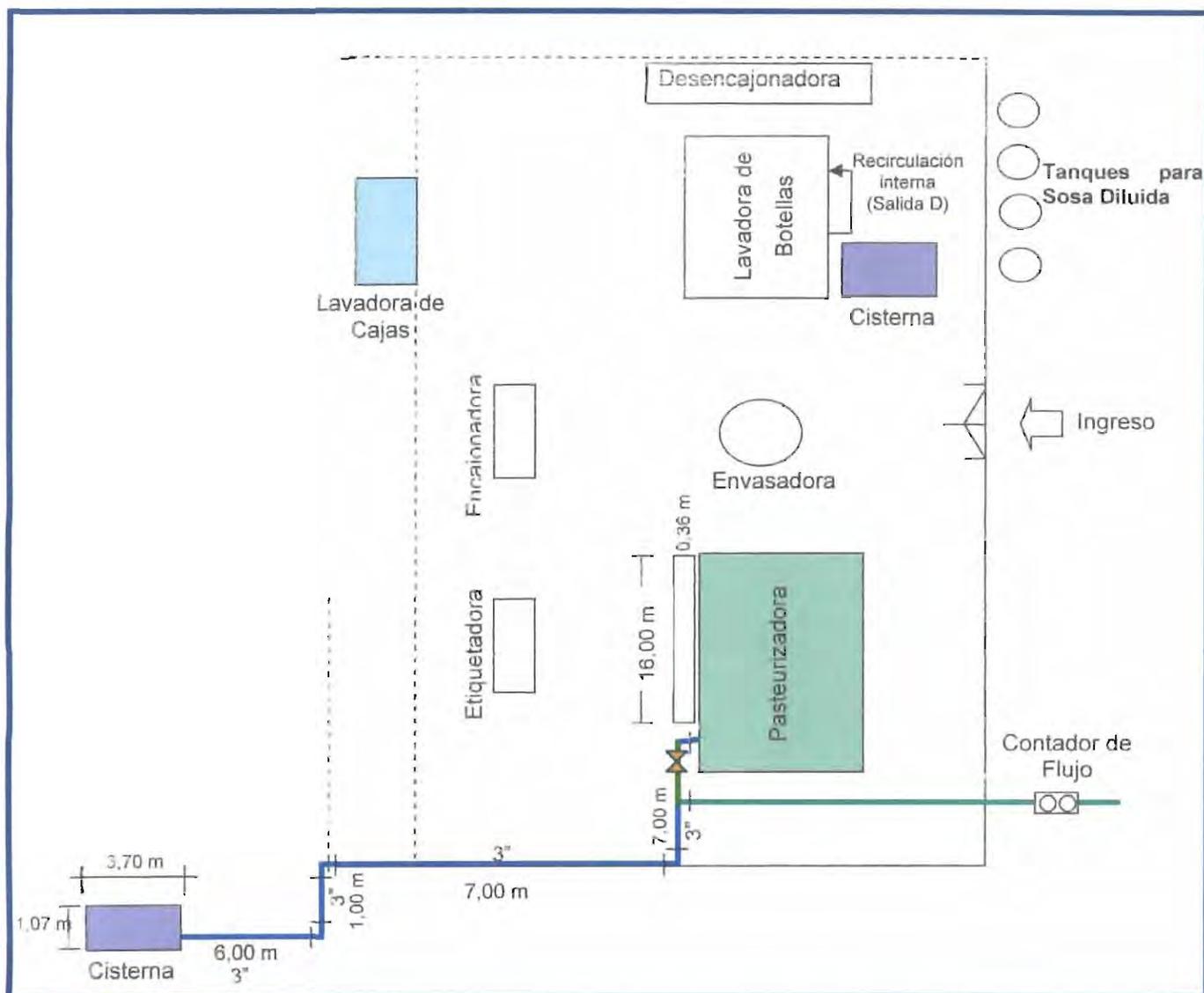


**Figura 3-8 Vista Frontal de la Parte de Afuera en la Línea 2 para la Recuperación y Reutilización**



**Figura 3-9 Vista Frontal de la Cisterna en la Línea 2 para la Recuperación y Reutilización**





**Figura 3-11 Diagrama Esquemático de la Reutilización de los Efluentes Líquidos en la Línea 2 del Proceso de Embotellado**

**Nota:**

- La tubería roja, son los efluentes líquidos recuperados.
- La tubería azul, es el agua reutilizada.
- La tubería verde oscura, es el agua general.

## Dimensionamiento del Equipo de Recuperación y Reutilización.

### Tanque de Almacenamiento y Recuperación.

Para el almacenamiento y recuperación de los efluentes líquidos en la Línea 3 se va a utilizar un tanque cuya capacidad es de 3000 l, que la empresa utiliza para almacenar agua proveniente del enfriamiento de los sistemas hidráulicos; las medidas de este tanque son las que aparecen en la tabla 3-10.

**Tabla 3-10 Dimensiones del Tanque de Recuperación de la Línea 3**

Altura Total (m)	Diámetro Interno (m)	Espesor (mm.)
2.64	1.19	4

Para el almacenamiento y recuperación de los efluentes líquidos en la Línea 2 se va a utilizar una cisterna cuya capacidad es de 6290 l, que la empresa utiliza para almacenar agua proveniente de otra cisterna que recupera el efluente líquido de la salida D en la lavadora de botellas; las medidas de esta cisterna se encuentran en la tabla 3-11.

**Tabla 3-11 Dimensiones de la Cisterna de Recuperación en la Línea 2**

Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)
3.70	1.07	1.59

### Sistema de Tuberías y Bombas.

El tamaño y cantidad de tubería, así como el número de accesorios y el dimensionamiento de las bombas ha utilizar se calcula en el anexo 3 y 4 para las líneas de producción 3 y 2, respectivamente.

### Recuperación:

**Tabla 3-12 Sistema de Tuberías Y Bombas para la Recuperación en la Línea 3**

	Tamaño nominal (pulg.)	Cantidad (m)	Bomba	Potencia (HP)	Codo 90°	Válvula	Unión "T"
Pasteurizadora	2	66.45	1	¾	6   1 (4")	1	1
Lav. Cajas	1	7.28	1	½	1	1	1

**Tabla 3-13 Sistema de Tuberías Y Bombas para la Recuperación en la Línea 2**

	Tamaño nominal (pulg.)	Cantidad (m)	Bomba	Potencia (HP)	Codo 90°	Válvula	Unión "T"
Pasteurizadora a Torre	3	33.14	1	2	6	1	-
Torre a Cisterna	3	51.10	-	-	6	-	-

**Reutilización:**

**Tabla 3-14 Sistema de Tuberías Y Bombas para la Reutilización en la Línea 3**

	Tamaño nominal (pulg.)	Cantidad (m)	Bomba	Potencia (HP)	Codo 90°	Válvula	Unión "T"
Tanque y Torre	3	16.80	1	1	2	1	1
Lav. Cajas	1	9.20	-	-	1	1	-
Pasteurizadora	2	53.10	-	-	4	1	-

**Tabla 3-15 Sistema de Tuberías Y Bombas para la Reutilización en la Línea 2**

	Tamaño nominal (pulg.)	Cantidad (m)	Bomba	Potencia (HP)	Codo 90°	Válvula	Unión "T"
Pasteurizadora	3	23.74	-	-	6	1	-

**Torres de Enfriamiento.**

Las torres de enfriamiento que se utilizarán para enfriar agua en las 2 líneas de producción, son de base cuadrangular y son construidas totalmente en plástico reforzado de fibra de vidrio, con pileta incorporada, el relleno de las torres son de polipropileno virgen inyectado con protección UV, del tipo "por salpicado" en placas ajustables que homogeneizan la superficie a regar, no generando corrientes viciosas, asegurando una correcta distribución de los fluidos y garantizando una excelente relación aire - agua, el separagota es de similar característica; las dimensiones de estas torres de enfriamiento se muestran en la tabla 3-16.

**Tabla 3-16 Dimensiones de las Torres de Enfriamiento para la Línea 3 y Línea 2**

	Altura (m)	Lado (m)
Línea 3	1.81	1.20
Línea 2	1.24	1.20

La empresa tiene el material que se muestra en la tabla 3-17.

**Tabla 3-17 Materiales que la Empresa tiene para la Recuperación y Reutilización**

Tamaño nominal (pulg.)	Cantidad (m)	Bomba	Potencia (HP)	Codo 90°	Válvula	Unión "T"
1	29.00	1	2	3	-	-
2	31.60			4	-	-
3	115.30			8	4	1

Tubería que se tiene que Adquirir para la Recuperación y Reutilización.

**Recuperación:**

**Tabla 3-18 Sistema de Tuberías y Bombas que tiene que Adquirir para la Recuperación en la Línea 3**

	Tamaño nominal (pulg.)	Cantidad (m)	Bomba	Potencia (HP)	Codo 90°		Válvula	Unión "T"
Pasteurizadora	2	34.85	1	$\frac{3}{4}$	2	1 (4")	1	1
Lav. Cajas	1	-	1	$\frac{1}{2}$	-	-	1	1

**Tabla 3-19 Sistema de Tuberías y Bombas que se tiene que Adquirir para la Recuperación en la Línea 2**

	Tamaño nominal (pulg.)	Cantidad (m)	Bomba	Potencia (HP)	Codo 90°	Válvula	Unión "T"
Pasteurizadora a Torre	3	-	-	-	-	-	-
Torre a Cisterna	3	-	-	-	6	-	-

**Reutilización:****Tabla 3-20 Sistema de Tuberías y Bombas que se tiene que Adquirir para la Reutilización en la Línea 3**

	Tamaño nominal (pulg.)	Cantidad (m)	Bomba	Potencia (HP)	Codo 90°	Válvula	Unión "T"
Tanque y Torre	3	7.70	1	1	-	-	1
Lav Cajas	1	-	-	-	-	1	-
Pasteurizadora	2	53.10	-	-	4	1	-

**Tabla 3-21 Sistema de Tuberías y Bombas que se tiene que Adquirir para la Reutilización en la Línea 2**

	Tamaño nominal (pulg.)	Cantidad (m)	Bomba	Potencia (HP)	Codo 90°	Válvula	Unión "T"
Pasteurizadora	3	1.78	-	-	6	-	-

**Cantidad Total de Tubería y Accesorios que se necesita Adquirir para la Recuperación y Reutilización en las 2 Líneas de Producción (Línea 3 y Línea 2).**

**Tabla 3-22 Cantidad Total Tubería, Accesorios y Bombas que se necesita Adquirir en la Recuperación y Reutilización**

Tamaño nominal (pulg.)	Cantidad total (m)	Bomba	Potencia (HP)	Codo 90°	Válvula	Unión "T"
1	-	1	1/2	-	2	1
2	87.95			6	2	1
3	9.48			12	1	-
4	-			1	-	-

Las bombas requeridas y anotadas en el anexo 5, para la recuperación y reutilización son del tipo:

BOMBA CENTRÍFUGA STANDARD C-Motor, 115/230V., 60C., 1 ETAPA, Succión 1-1/4" y Descarga 1". CT-05B 1/2 HP, CT-07B 3/4 HP, CT-05B 1 HP.

### 3.5 Evaluación Económica.

#### 3.5.1 Costo para el Equipo de Recuperación y Reutilización de los Efluentes Líquidos en el Proceso de Embotellado.

Cabe señalar que tanto el tanque de recuperación en la Línea 3 y la cisterna de recuperación que se encuentra instalada en la Línea 2, no tienen costo debido a que es propiedad de la empresa, así como también cierta cantidad de tubería, accesorios y una bomba cuya potencia es 2 HP.

El costo de los equipos para el sistema de recuperación y reutilización se observan en la tabla 3-23, los mismos que incluyen gastos de transporte, embalaje, seguros y aduana.

**Tabla 3-23 Costo de los Equipos Utilizados en el Sistema de Recuperación y Reutilización**

INVERSIÓN			
EQUIPO	Costo USD/unidad	Unidades	Costo Total USD
Torre de enfriamiento L-3	1507,50	1	1507,50
Torre de enfriamiento L-2	1507,50	1	1507,50
Bombas de agua 1/2HP	325,00	1	325,00
Bombas de agua 3/4HP	370,00	1	370,00
Bombas de agua 1 HP	369,00	1	369,00
Tubos Galvanizados			
TUBO HG REFORZADO 2"	6,62	87,95	582,23
TUBO HG REFORZADO 3"	14,54	9,48	137,84
Codos 90°			
CODO DE 2"	3,52	6	21,12
CODO DE 3"	13,49	12	161,88
CODO DE 4"	22,87	1	22,87
"T"			
T 1"	1,78	1	1,78
T 2"	5,06	1	5,06
Válvulas			
VALVULAS 1"	20,00	2	40,00
VALVULAS 2"	36,88	2	73,76
VALVULAS 3"	102,07	1	102,07
Tanque pulmón para L-3	636,64	1	636,64
Tanque pulmón para L-2	739,00	1	739,00
Soporte metálico L-3	424,15	1	424,15
Soporte metálico L-2	403,68	1	403,68
Base de hormigón L-3	1000,64	1	1000,64
Base de hormigón L-2	1000,64	1	1000,64
TOTAL			9432,36

### 3.5.2 Beneficio Económico de la Empresa al realizar la Disminución de los Efluentes Líquidos en el Proceso de Embotellado.

Al realizar la disminución de los efluentes líquidos por medio de la recuperación y reutilización se tienen los siguientes beneficios, cuyos cálculos se puede observar en el anexo 7: (Siendo los costos nominales o de operación del agua ablandada de 0.44 USD/m<sup>3</sup>, el del agua general es 0.24 USD/m<sup>3</sup> y el del agua residual tratada es 0.15 USD/m<sup>3</sup>).

- Cantidad de agua ablandada ahorrada.
  - Cantidad de agua general ahorrada.
  - Cantidad de agua residual tratada ahorrada.
  - Beneficio económico por el ahorro de agua ablandada.
  - Beneficio económico por el ahorro de agua general.
  - Beneficio económico por el ahorro de agua residual tratada.
- 
- Cantidad de Agua Ablandada Ahorrada:  
Se ahorra 132297.60 Hl. /año de agua ablandada.
  - Cantidad de Agua General Ahorrada:  
Se ahorra 52228.80 Hl. /año de agua general.
  - Cantidad de Agua Residual Tratada Ahorrada:  
Se ahorra 199088.4046 Hl. /año de agua residual tratada en la Línea 3 y 105615,36 Hl. /año de agua residual tratada en la Línea 2, dando un total 304703.77 Hl. /año de agua residual tratada.
  - Beneficio económico por el ahorro de agua ablandada.  
Se tiene 4974,99 USD/año de beneficio económico, tomando en cuenta los costos variables adicionales.
  - Beneficio económico por el ahorro de agua general.  
Se tiene 407,39 USD/año de beneficio económico, tomando en cuenta los costos variables adicionales.
  - Beneficio económico por el ahorro de agua residual tratada.  
Se tiene 3724,45 USD/año de beneficio económico, tomando en cuenta los costos variables adicionales.

### Análisis Económico o Financiero.

Se toma en cuenta el gasto de consumo de energía eléctrica por parte de las bombas y ventiladores en las torres de enfriamiento a instalarse. El costo de energía eléctrica es 0.09215 USD/Kwh. (costo nominal que tiene la empresa).

Se considera además una mano de obra adicional, que son los del proyectista y 2 mecánicos para la instalación del equipo.

**Tabla 3-24 Costos Variables Adicionales durante todo el Proyecto**

COSTOS VARIABLES ADICIONALES								
	Unidades	Potencia (HP)	Potencia (KW)	Horas/mes	KWH/mes	KWH/año	Costo USD/KWH	Costo USD/año
Bombas (L-3)								
Pasteurizadora	1	0,75	0,552	229,28	126,53	1518,41	0,09215	139,92
Lav. Cajas	1	0,5	0,368	229,28	84,36	1012,27	0,09215	93,28
Tanque	1	1	0,736	229,28	168,71	2024,55	0,09215	186,56
Torre Enfr. L-3	1	0,75	0,552	229,28	126,53	1518,41	0,09215	139,92
Bombas (L-2)								
Pasteurizadora	1	2	1,472	128	188,37	2260,49	0,09215	208,30
Torre Enfr. L-2	1	0,75	0,552	128	70,64	847,68	0,09215	78,11
<b>Total USD</b>								<b>846,10</b>

**Tabla 3-25 Costos de Mano de Obra Adicional.**

COSTOS MANO DE OBRA ADICIONAL			
	Salario Mensual	Tiempo de Trabajo (meses)	Costo Total
Proyectista	500 USD	6	3000
2 Mecánicos	200 USD/mecánico	1	400
<b>TOTAL USD</b>			<b>3400</b>

### Parámetros para Estimar la Rentabilidad del Proyecto de Ahorro de Agua General y Agua Residual Tratada.

La inversión que se realiza por la adquisición de los equipos y otros gastos es 12832.36 USD, la misma que se recupera en 1.53 años (1 año 6 meses 7 días).

El desarrollo del análisis económico incluido el flujo de fondos se encuentra en el anexo 11.

**Tabla 3-26 Resultados del Análisis Económico y del Flujo de Caja Neto del Proyecto**

PARÁMETROS PARA ESTIMAR LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO		
VALOR ACTUAL NETO ( VAN )	24137,17	USD
TASA NETA DE RETORNO (% /año)	31,35	%
CAPITAL TOTAL DESCONTADO	12832,36	USD
TASA INTERNA DE RETORNO ( TIR )	64,42	%
TIEMPO DE PAGO DE LA INVERSIÓN	1,53	años
FRACCIÓN DE PAGO NETO	0,15	
TIEMPO DE VIDA	5,00	años
TIEMPO DE OPERACIÓN	4,00	años

**Análisis de Sensibilidad con respecto al Valor Actual Neto (VAN) y de la Tasa Interna de Retorno (TIR)**

**Tabla 3-27 Análisis de Sensibilidad con respecto al Valor Actual Neto (VAN) y de la Tasa Interna de Retorno (TIR)**

AHORRO	VAN	TIR
Agua General y Agua Ablandada	9145,03 USD	30,90%
Agua General y Agua Ablandada + Agua Residual Tratada	24137,17 USD	64,42%

En el caso cuando solo se toma en cuenta el ahorro de agua general y ablandada, su tasa interna de retorno es mayor a la tasa atractiva de retorno (30.90%), y su valor actual neto es 9145.03 USD.

Cuando se toma en cuenta el ahorro tanto del agua general, agua ablandada y del agua residual tratada se obtiene un TIR del 64.42% y su valor actual neto es de 24137.17 USD.

La diferencia entre los valores del VAN respecto al primer caso donde solo se ahorra agua general y ablandada y el segundo caso considerando también el ahorro de agua residual tratada es 14992.14 USD, y la diferencia entre los valores del TIR es de un 33.52%.

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 4.1 Conclusiones.

1. Por medio de la Producción más Limpia se ayuda a la empresa a recuperar y reutilizar parte de sus efluentes líquidos, teniendo un beneficio económico debido al ahorro de agua ablandada y general, así como también a la disminución del agua residual a tratar.
2. Este proyecto ayuda al proceso de embotellado a disminuir la cantidad de sus efluentes líquidos, al reutilizarlos en el mismo proceso.
3. La cantidad de agua ablandada ahorrada es 132297.60 HI. /año, obteniendo un beneficio económico de 4974.99 USD /año.
4. La cantidad de agua general ahorrada es 52228.80 HI. /año. obteniendo un beneficio económico de 407.39 USD /año.
5. Se ahorra 304753.77 HI. /año de agua residual tratada, con esto se obtiene un beneficio económico de 3724.45 USD/año.
6. Los efluentes líquidos a ser recuperados y reutilizados son: los efluentes líquidos de la lavadora de cajas y pasteurizadora en la Línea 3 y los 4 efluentes líquidos de la pasteurizadora en la Línea 2.
7. El sistema sugerido para la recuperación y reutilización, cuenta con un tanque de almacenamiento de agua, cuya capacidad es de 3000 litros para la Línea 3 y una cisterna en la Línea 2 cuya capacidad es 6290 litros, 2 torres de enfriamiento, tubería y bombas.
8. La inversión realizada es 12832.36 USD, la cual se recupera a los 1.53 años (1 año 6 meses 7 días), con un valor actual neto (VAN) de 24137.17 USD y una tasa interna de retorno (TIR) del 64.42%, que se calcula para un tiempo

de vida útil de 5 años, con lo cual se concluye que el proyecto es factible y rentable, porque primeramente presenta un valor actual neto mayor que cero y su tasa interna de retorno es 13 veces mayor a la tasa media atractiva de retorno (TMRA) que ofrecen los bancos.

9. En este proyecto al realizar el balance de masa de cada línea de producción se detecta adicionalmente que:
  - 9.1. En la Línea 3 la cantidad de agua que se pierde es 22880.31 Hl. /año (0.231 l/s), que corresponde al 2.17% del agua total que ingresa; el agua de reposición total por pérdidas evaporativas es 28526.10 Hl. /año (0.288 l/s).
  - 9.2. En la Línea 2 la cantidad de agua que se pierde es 3981.31 Hl. /año (0.072 l/s), que corresponde al 1.84% del agua total que ingresa; el agua de reposición total por pérdidas evaporativas es 6967.29 Hl. /año (0.126 l/s).
  
10. Con el análisis del consumo de vapor se detecta adicionalmente que:
  - 10.1. En la Línea 3 se pierde 9807.84 Hl. /año de condensado cuyo costo económico es 982.94 USD/año.
  - 10.2. En la Línea 2 se pierde 4246.6 Hl. /año de condensado cuyo costo económico es 425.57 USD/año.

## 4.2 Recomendaciones.

1. Se recomienda que la Escuela Politécnica Nacional realice otros trabajos a nivel industrial, con la finalidad de aplicar Producción más Limpia.
2. Se recomienda tener un control continuo de los parámetros y el grado de contaminación de los efluentes líquidos en cualquier proceso de la empresa, puesto que con esta información, a más de saber las condiciones que se encuentran dichas emisiones, también se podrá controlar el impacto ambiental que causarían los efluentes líquidos mencionados.
3. Se recomienda en forma general, concientizar y capacitar a los empleados de la empresa en lo que se refiere al concepto de Producción más Limpia, para cuando se vaya a implementar sea más fácil su realización con la participación de todos.
4. Se recomienda realizar un estudio más profundo de un balance energético tanto en la pasteurizadora como en la lavadora de botellas de las 2 líneas de producción, para conocer el comportamiento energético estable y no estable es estas máquinas.
5. El sistema de recuperación y reutilización que se propone para el proceso de embotellado es completamente manual, es por esto que se recomienda automatizar dicho sistema instalando controladores de nivel como de temperatura en las salidas y entradas de los tanques de almacenamiento con la finalidad de optimizar el funcionamiento de dicho sistema.
6. Cada fin de trabajo de las líneas de producción, se recomienda realizar una limpieza en el interior del tanque y la cisterna de recuperación para asegurar que el agua almacenada no se contamine o se ensucie.

7. Para disminuir la cantidad de agua que se pierde en las 2 líneas de producción, se recomienda realizar una campaña de ahorro de agua, principalmente en los momentos que se realiza la limpieza de los pisos.
  
3. Al realizar la investigación para el estudio del consumo de vapor se detecta que algunos intercambiadores de calor tienen un diseño obsoleto principalmente en la máquina de la pasteurizadora en la Línea 2, ya que se pierde una cierta cantidad de condensado, el mismo que se mezcla con el agua presente en los tanques de almacenamiento de dicha máquina, por lo que se recomienda un estudio más detallado acerca de diseñar e implementar un nuevo sistema de intercambio de calor. en las diferentes máquinas donde se necesita el calentamiento de agua para cumplir con sus objetivos, el cual permita que se recupere todo el condensado que se forma luego de que el vapor cede su calor para el calentamiento del agua, y retorne al Proceso de Motrices.
  
9. El condensado a más de perderse por el diseño obsoleto de los intercambiadores de calor, se pierde también por fugas que se encuentran en las tuberías por donde se recircula dicho condensado, por lo que se recomienda realizar un completo mantenimiento de todas estas tuberías.

## BIBLIOGRAFÍA.

- 1) PNUMA, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Producción más Limpia (Un paquete de recursos de capacitación), Primera edición 1999, Ciudad de México, México, pp. 5-6-7-8-9-10-11-12-30
- 2) MICHALEK, Rom, LOMBARDO, George, DE LA CHESNAYE, Francisco, Manual de Capacitación de Minimización de Residuos, New York, 1996, pp. 1-15-17-18-19-20-21-22-23-24
- 3) IZURIETA, Bolívar, Cuaderno de Producción más Limpia, 2002.
- 4) APHA, AWWA, WPCF, Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales, Ediciones DIAZ DE SANTOS, S.A., Madrid, España, 1992, 5220 B, C. pp. 5-14 – 5-15 – 5-17 – 5-18 – 5-19, 5210 B., pp. 5-4 – 5-12, 4500-O C., pp. 4-172 - 4-176, 4500-H+, pp. 4-106 – 4-115, 2550 A., pp. 2-88 – 2-89, 2540 B. pp. 2-80 – 2-81, 2540 C. pp. 2-81– 2-82 – 2-83, 2540 D. pp. 2-83– 2-84 – 2-85, 2540 F. pp. 2-86 – 2-87, 2320 A. pp. 2-38 – 2-39 – 2-40 – 2-41– 2-42– 2-43; 2340 B. pp. 2-57 – 2-58 – 2-59 – 2-60– 2-61– 2-62.
- 5) PERRY ROBERT H., Perry's Chemical Engineers' Handbook, McGraw-Hill Companies, seventh edition, tomo II, 1999, sección 6, pp. 6-4 – 6-8 – 6-13 - 6-39 – 6-41 – 6-42 – 6-56 – 6-111 – 6-113.
- 6) DIVISIÓN DE CONTROL DE CALIDAD. DPTO. DE CONTROL DE CALIDAD, Técnicas de Análisis de Aguas, Bavaria, 1999.
- 7) AMERICAN SOCIETY OF BREWING CHEMISTS, Methods o Analysis, Eighth Edition, 1992.

- 8) NALCO CHEMICAL COMPANY, Manual del Agua, Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones, Editorial Mc GRAW-HILL, México, 1995, Tomo I, Sección 1 Capítulo I pp. 1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 1-5, Capítulo IV pp. 4-4, 4-5, 4-7, 4-18, 4-19, 4-20 Tomo III, pp. G-1, G-3, G-4, G-5, G-8, G-10.
  
- 9) RAMÍREZ, Trajano, Folleto de Tratamiento de Aguas, 2002.
  
- 10) JALIL, José, Folleto de Alternativas de Tratamiento de Aguas de Desecho Industrial, 2002.
  
- 11) MUÑOZ, Marcelo, Folleto de Efluentes Industriales, Unidad de Ingeniería Ambiental, Escuela Politécnica Nacional, 2000, pp. 1-3-4-5-6.
  
- 12) SEMINARIO SOBRE TRATAMIENTO DE EFLUENTES INDUSTRIALES, Aplicaciones Industriales – LATINRECO S.A., 1993, pp. 1-2.
  
- 13) MUJERIEGO, R, Técnicas de recuperación, distribución y reutilización de las aguas depuradas, 1999, página Web <http://www.lctnet.es/conferencias>.
  
- 14) [http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis\\_De\\_Aguas/Interpretacion\\_Analisis\\_de\\_Aguas.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Interpretacion_Analisis_de_Aguas.htm), 2002.
  
- 15) LEÓN, L.F., Índice de Calidad del Agua, ICA, Inf. # SH-9101/01, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 62550 Jiutepec, México, 1999, pp. 36
  
- 16) PRATS RICO Daniel, Conceptos generales sobre reutilización, calidad del agua y usos posibles, 1999, Universidad de Alicante, pp. 1-2-3.

- 17) OCON GARCÍA, Joaquín, TOJO BARREIRO, Gabriel, Problemas de Ingeniería Química, Operaciones Básicas, 1982, Tomo I, pp. 382-383-399-411.
- 18) URWIN, Robert J., Goulds Pump Manual, 1983, Fourth Edition, Advertising Manager, Inc, pp. 285 – 286 – 287 – 288 – 289 – 290 – 291.

## GLOSARIO.

**Drenaje:** Sistema recolector de efluentes en una planta.

**Materia prima:** Material sobre el cual se lleva a cabo un proceso de fabricación particular.

**Proceso:** Incluye todas las operaciones involucradas en la producción.

**PE:** Peso equivalente, el peso en gramos de una sustancia que se combina con (o que desplaza a) un gramo de hidrógeno,; se obtiene por lo general, dividiendo el peso fórmula entre la valencia..

**Ablandamiento:** Remoción de la dureza (calcio y magnesio) del agua.

**DQO:** Demanda química de oxígeno, medida de la cantidad de materia orgánica y de otras sustancias reductoras del agua.

**DBO<sub>5</sub>:** Demanda bioquímica de oxígeno, a los 5 días de incubar la muestra y realizar el análisis, es el oxígeno que requieren las bacterias para oxidar la materia orgánica soluble en condiciones controladas de prueba.

**pH:** Potencial de hidrógeno, manera de expresar la concentración de ión hidrógeno con términos de potencias de 10, es el logaritmo negativo de la concentración de ión hidrógeno.

**OD:** Oxígeno disuelto.

**Tanque de gobierno:** Es un tanque que tiene características homogéneas, que se tiene en otros tanques, se les pone aquí, para tratar de homogenizar la cerveza antes de envasar la misma.

**EDTA:** Ácido etilén diamino tetraacético, la sal de sodio es la forma usual de este material quelatante.

**Frasco ámbar:** Frasco de vidrio café que no deja pasar la luz, principalmente se usa para los reactivos que tenga plata (Ag), ya que este se oxida con la luz.

**Fermentación:** Conversión de la materia orgánica a CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, y compuestos semejantes de bajo peso molecular, por acción de las bacterias anaerobias.

**Vertedero:** Dispositivo de rebose usado para medir o controlar el flujo de agua.

**Sosa:** Se le da el nombre así al hidróxido de sodio NaOH, también se le llama soda.

**ppmCaCO<sub>3</sub>**: partes por millón como carbonato de calcio. Las partes por millón representan un gramo de soluto en un millón de gramos de la solución.

**LIBOR**: (London interbank Offered Rate), es una tasa a la cual los bancos toman préstamos de otros bancos en el mercado interbancario londinense. En nuestro país es utilizada comúnmente como tasa para ajustar el pago de renta de bonos de gobierno y del sector privado y también para el cálculo de las cuotas de los préstamos hipotecarios, personales y prendarios que otorgan los bancos.

### **Nomenclatura utilizada en este Proyecto**

**PML**: Producción más Limpia.

**PNUMA**: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

**EPA**: Agencia de Protección de Medio Ambiente.

**SAA**: Sistema de Mejora Continua Administración Ambiental.

**RAI**: Revisión Ambiental Inicial, para la identificación de los aspectos ambientales significativos.

**SS**: Sólidos Totales Suspendidos.

**pH** : Potencial de hidrógeno.

**Ca<sup>2+</sup>**: Ión Calcio.

**Mg<sup>2+</sup>**: Ión Magnesio.

**EDTA**: Ácido tetracético etilén diamina.

**h total**: Altura total.

**Di**: Diámetro interno.

**De**: Diámetro externo

**q**: caudal o descarga.

**m**: Metros.

**m<sup>3</sup>**: Metros cúbicos.

**cm.**: Centímetros.

**cm<sup>2</sup>**: Centímetros al cuadrado.

**nm**: Nanómetros.

**mg/l**: Miligramos por litro.

**mgO<sub>2</sub>/l**: Miligramos de Oxígeno por litro.

**ml/l**: Mililitros por litro.

**L:** Litros.

**°C:** Grados centígrados.

**ml:** Mililitros.

**HP:** Caballos de Fuerza (horsepower).

**pulg.:** Pulgadas.

**RPM:** Revoluciones por minuto.

**p/V:** relación peso volumen.

**$\varepsilon / D$ :** Rugosidad relativa.

**Kg. /s:** Kilogramo por segundo.

**USD:** Dólares Norteamericanos.

**Merma:** Cerveza de desecho.

**$Ag_2SO_4$ :** Sulfato de plata.

**$H_2SO_4$ :** Ácido sulfúrico.

**$HgSO_4$ :** Sulfato mercurioso.

**FHP:** Ftalato de hidrógeno de potasio

**$Na_2S_2O_3$ :** Tiosulfato de sodio

**$KH_2PO_4$ :** Fosfato di ácido de potasio.

**$Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$ :** Fosfato ácido de sodio hepta hidratado.

**$NH_4Cl$ :** Cloruro de amonio.

**$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ :** Sulfato de magnesio repta hidratado.

**$CaCl_2$ :** Cloruro de calcio.

**$FeCl_3 \cdot 6H_2O$ :** Cloruro férrico hexa hidratado.

**NaOH:** Hidróxido de sodio.

**KOH:** Hidróxido de potasio.

**NaI:** Ioduro de sodio.

**KI:** Ioduro de potasio.

**$NaN_3$ :** Nitruro de sodio.

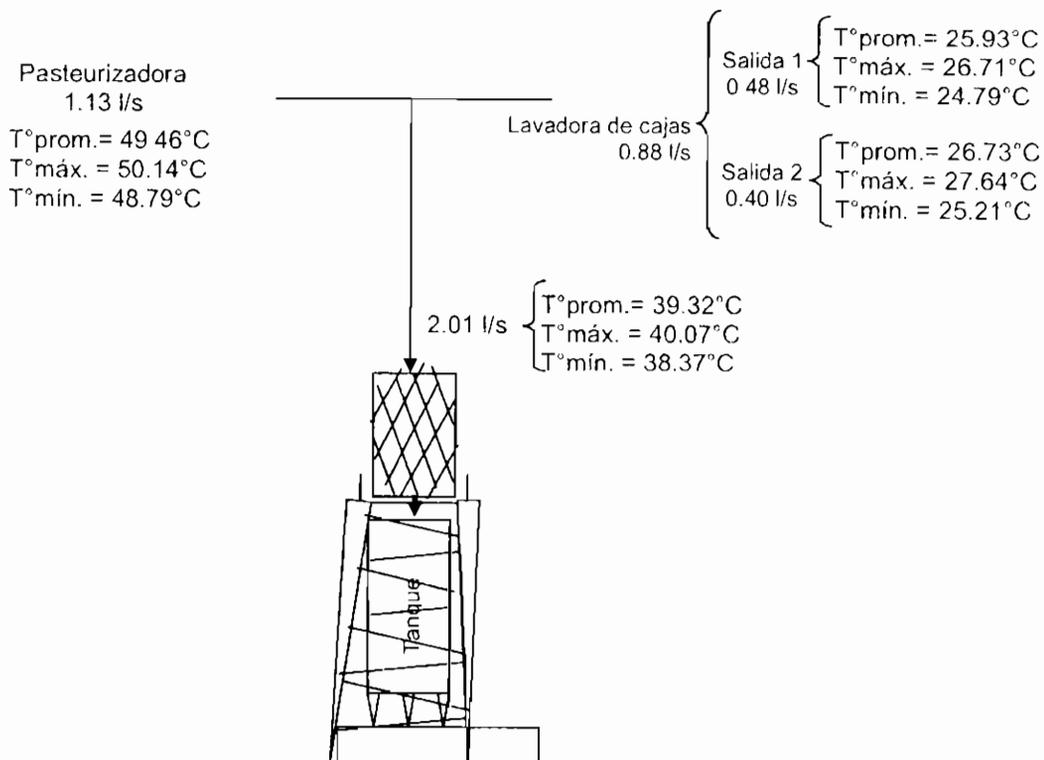
**HCl:** Ácido clorhídrico.

**TIR:** Tasa interna de retorno.

**VAN:** Valor neto presente o valor actual neto.

## ANEXOS.

### ANEXO 1 Condiciones que Ingresa el Agua a la Torre de Enfriamiento y Dimensionamiento de la Misma en la Línea 3.



Los valores de los caudales de cada salida donde se va a recuperar es constante todo el día de producción.

La temperatura promedio, máxima y mínima a la entrada de la torre de enfriamiento se calculan con un balance energético que es el siguiente:

#### Balance Energético.

Para obtener la temperatura que ingresa a la torre de enfriamiento se tendrá que realizar el siguiente balance energético:

$$\dot{m}_1 H_1 + \dot{m}_2 H_2 = \dot{m}_3 H_3$$

Siendo:  $\dot{m}$  = flujo másico (Kg. /h)

H = entalpía (Kcal. /Kg.)

$$L_1 \int_{T_0}^{T_1} C_p dT + L_2 \int_{T_0}^{T_2} C_p dT = L_3 \int_{T_0}^{T_3} C_p dT$$

$$L_1 C_p (T_1 - T_0) + L_2 C_p (T_2 - T_0) = L_3 C_p (T_3 - T_0)$$

Como las capacidades caloríficas ( $C_p$ ) son iguales se eliminan.

$$L_1 T_1 + L_2 T_2 = L_3 T_3$$

$$T_3 = \frac{L_1 T_1 + L_2 T_2}{L_3}$$

Como la densidad no varía significativamente con la temperatura el balance energético queda de la siguiente manera:

$$T_3 = \frac{Q_1 T_1 + Q_2 T_2}{Q_3}$$

Siendo:  $Q$  = caudal (l/s)

$T$  = temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )

Este balance energético es realiza, haciendo la suposición que no hay pérdida de energía hacia el medio ambiente debido a que los tiempos de retención en las 2 líneas de producción son mínimos.

Las condiciones que tendrá el agua al ingresar a la torre de enfriamiento en la Línea 3 son:

	Caudal (l/s)	T° promedio ( $^{\circ}\text{C}$ )	T° máxima ( $^{\circ}\text{C}$ )	T° mínima ( $^{\circ}\text{C}$ )
Pasteurizadora	1.13	49.46	50.14	48.79
Lav. Cajas Sal.1	0.48	25.93	26.71	24.79
Lav. Cajas Sal.2	0.40	26.73	27.64	25.21
Torre de Enfriamiento	2.01	39.32	40.07	38.37

Caudal de entrada a la torre de enfriamiento = 2.01 l/s.

Caudal de entrada al tanque de recuperación = 1.972 l/s. (pérdida por evaporación)

Volumen total del tanque =  $3 \text{ m}^3$  (3000l).

Volumen del Líquido que siempre estará =  $1.5 \text{ m}^3$  (1500l).

El nivel del líquido en el tanque va a estar en los 1500 l, es decir que se toma un factor de seguridad del 50% (factor de diseño).

Se considera que con la recuperación de estos efluentes líquidos se va a lograr colocar esta agua en los tanques de almacenamiento de la pasteurizadora para

enfriamiento y lavadora de cajas, al igual servirá para mantener el nivel de los mismos tanques de la pasteurizadora y lavadora de cajas

### Dimensionamiento de la Torre de Enfriamiento en la Línea 3.

La torre de enfriamiento que va a ser utilizada en la Línea 3 tiene que bajar la temperatura del agua desde  $39.32^{\circ}\text{C}$  a una temperatura de  $28^{\circ}\text{C}$ .

Esta torre de enfriamiento va a hacer de base cuadrangular de 1.20 m de lado, teniendo un área de contacto de  $1.44\text{ m}^2$

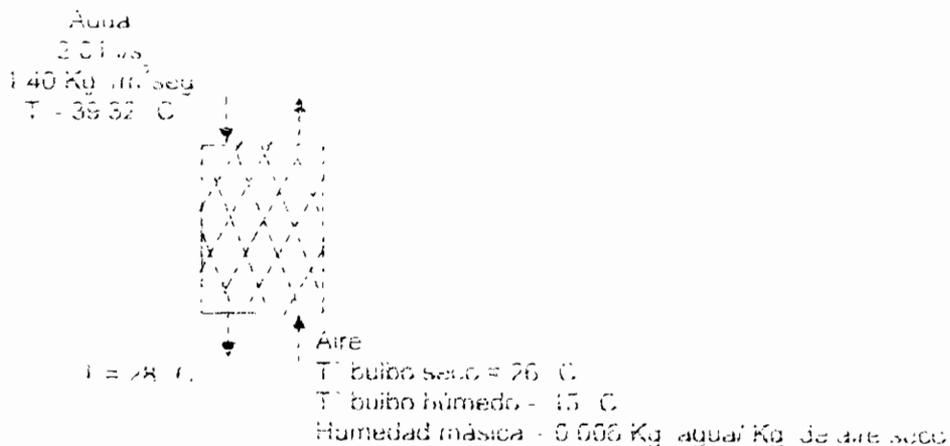
Las condiciones del aire son:

Temperatura de bulbo seco =  $26^{\circ}\text{C}$

Temperatura de bulbo húmedo =  $15^{\circ}\text{C}$ .

Humedad másica =  $0.008\text{ Kg. agua /Kg. de aire seco}$

Mediante la ecuación 1-2 y con la curva de operación del agua y el aire utilizado (Entalpia vs Temperatura) se procede a calcular la altura de la torre de enfriamiento.



Las condiciones que va a tener esta torre de enfriamiento son:

Flujo de aire mínimo =  $0.57\text{ Kg. /m}^2\text{seg}$  ( $0.82\text{ Kg. /seg}$ )

Flujo del líquido =  $1.40\text{ Kg. /m}^2\text{seg}$  ( $2.01\text{ /seg.}$ )

Relleno polipropileno virgen =  $Kya = 2.085\text{ Kg. /m}^3\text{seg}$

Altura de la torre de enfriamiento =  $1.81\text{ m.}$

Potencia del ventilador =  $0.75\text{ HP a }960\text{ RPM.}$

Altura del relleno en el interior de la torre =  $0.6\text{ m}$

Cantidad de calor evacuado  $82413\text{ Cal/h.}$

Cantidad de agua evaporada  $0.038\text{ l /seg}$

### **Tiempo de Retención del Agua Recuperada en la Torre de Enfriamiento.**

Volumen del relleno en el interior de la torre de enfriamiento =  $0.6 \text{ m}^3$ .

Caudal total que ingresa a la torre de enfriamiento =  $2.01 \text{ l/s}$ .

$$tiemporetención = \frac{\text{Volumen de la torre de enfriamiento}}{\text{Caudal de entrada a la torre de enfriamiento}}$$

Tiempo de retención en la torre de enfriamiento (Línea 3) =  $4.97 \text{ min}$ .

### **Tiempo de Retención del Agua Recuperada en el Tanque.**

Volumen del tanque de recuperación =  $3000 \text{ l}$ .

Volumen del Líquido en el tanque de recuperación =  $1500 \text{ l}$ .

Caudal total que ingresa al tanque de recuperación =  $2.01 \text{ l/s}$ .

$$tiemporetención = \frac{\text{Vol. líquido en el tanque}}{\text{Caudal de entrada al tanque}}$$

Tiempo de retención en el tanque de recuperación (Línea 3) =  $12.44 \text{ min}$ . (13 min.)

### **Cantidad de Agua Ablandada que sigue ingresando a la Línea 3.**

Solamente se toma en cuenta el consumo de agua ablandada, puesto que esta agua es la que se necesita en las máquinas donde se va a reutilizar.

Agua ablandada que entra =  $5.16 \text{ l/s}$ .

Agua recirculada =  $2.01 \text{ l/s}$ .

Agua que sigue ingresando a la L-3 =  $(5.16 - 2.01) \text{ l/s} = 3.15 \text{ l/s}$ .

### **Cantidad de Agua de Reposición por pérdidas evaporativas que se necesita en la Línea 3**

El agua de reposición en la L-3 es por pérdidas evaporativas que se producen en la pasteurizadora y lavadora de botellas, además por el agua que se evapora en la torre de enfriamiento.

La cantidad de agua de reposición por el agua que se evapora en la pasteurizadora y lavadora de botellas es  $0.25 \text{ l/s}$ .

Agua de reposición debido a pérdidas evaporativas en la torre de enfriamiento =  $0.038 \text{ l/seg}$ .

Agua total de reposición en la L-3 =  $0.288 \text{ l/seg}$ .

### Tiempo que se debe abrir la Válvula para que Ingrese Agua Ablandada en la Línea 3

Este tiempo es para saber cuando tengo que cerrar la válvula del agua ablandada para tener lleno los tanques de almacenamiento en la pasteurizadora, lavadora de cajas y llegar hasta el nivel de líquido que debe tener el tanque ( $1.5 \text{ m}^3$ ).

Generalmente el flujo del agua general y ablandada corresponde cuando se tiene abierta la válvula a la mitad, por lo que para este tiempo se usa el flujo cuando la válvula está totalmente abierta.

Volumen que queda en los tanques de almacenamiento de la lavadora de cajas y pasteurizadora.

Pasteurizadora =  $4.2 \text{ m}^3 / \text{tanque} = 8 \text{ tanques} = 33.6 \text{ m}^3$ .

Lavadora de cajas =  $4.8 \text{ m}^3$ .

Volumen total que queda en las máquinas =  $39.4 \text{ m}^3$ .

Volumen del nivel líquido en el tanque =  $1.5 \text{ m}^3$ .

Caudal que ingresa el agua ablandada (válvula media abierta) =  $5.16 \text{ l/s}$ .

Caudal que ingresa el agua ablandada (válvula totalmente abierta) =  $10.32 \text{ l/s}$ .

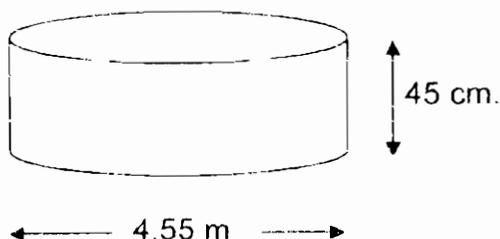
$$\text{Tiempo que se abre la válvula} = \frac{\text{Volumen en las máquinas} + \text{Volumen del nivel líquido en tanque}}{\text{Caudal de agua ablandada que ingresa en L.} - 3}$$

Tiempo que se abre totalmente la válvula de agua ablandada en la L-3 =

64.44 min (1h 4min)

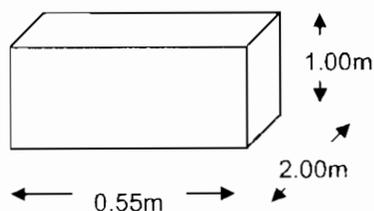
### Base donde va a estar asentado el Soporte donde se va a Asentar la Torre de Enfriamiento y el Tanque de Recuperación en la Línea 3.

Esta base va a ser de hormigón en muros,  $f_c' = 210 \text{ Kg. /cm}^2$ , equipo: concreteira, 1 saco, vibrador, encofrado su costo es 136.70 USD por metro cúbico, este precio fue dado por la empresa CÁMARA DE CONSTRUCCIÓN DE PICHINCHA, el volumen de la base donde va a asentar el soporte metálico que sostiene a la torre de enfriamiento y al tanque de recuperación en la Línea 3 es de  $7.32 \text{ m}^3$ . El costo total es de 1000.64 USD.



### Tanque Pulmón que se necesita para bombear el Efluente Líquido de la Pasteurizadora.

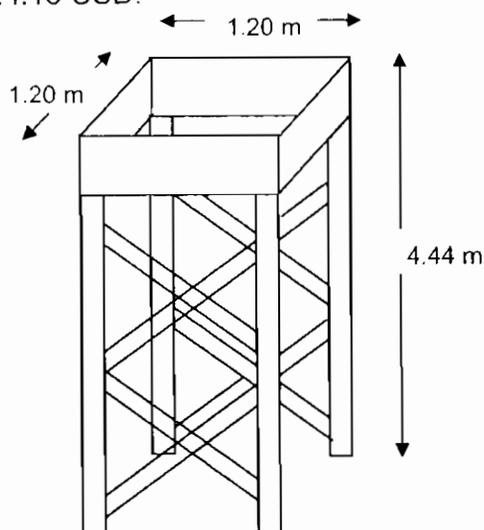
El material que se usará para la construcción de este tanque es plancha 1220\*2440\*4 m, cada unidad pesa 93 Kg. /unidad con un costo de 2 USD/Kg. Estas cantidades fueron dadas por la CAMARA DE CONSTRUCCIÓN. El costo total es 636.64 USD.



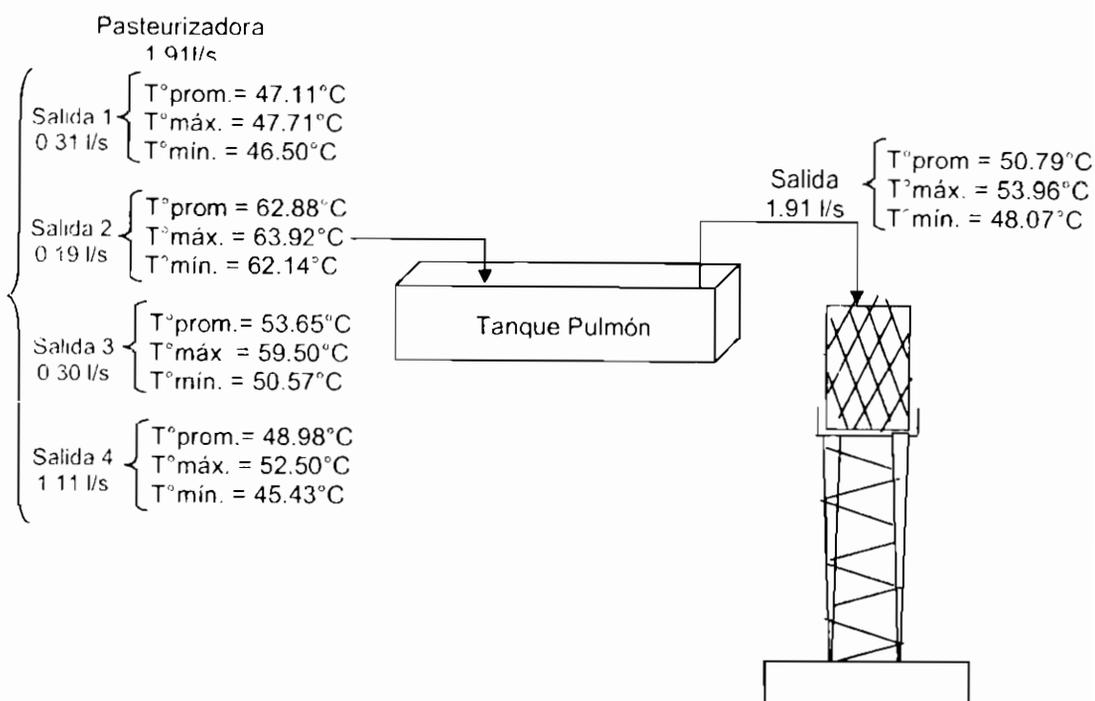
### Soporte Metálico donde se va a Asentar la Torre de Enfriamiento.

Se utilizará perfil de hierro canal C 100\*50\*3mm, cuya unidad mesa 14.46 Kg. /6m con un costo de 2.5 USD/Kg.

Se utilizará un total de 56.35 m. El costo total para la construcción e instalación de este soporte es 424.15 USD.



## ANEXO 2 Condiciones que Ingresa el Agua a la Torre de Enfriamiento y Dimensionamiento de la Misma en la Línea 2.



Los 4 efluentes líquidos que salen de la pasteurizadora son producto del reboso o derrame de los tanques de almacenamiento de esta máquina; la salida de agua es casi igual a la entrada del agua recuperada en la cisterna, debido a que el agua que se va a reutilizar en la lavadora de cajas es menor al agua que se va a reutilizar en la misma pasteurizadora y además esta colocación de agua en la lavadora de cajas no es continuo sino es batch, siendo su flujo de 0.015 l/s.

El flujo que se va a reutilizar en la pasteurizadora = 1.91 l/s.

Los valores de los caudales de cada salida donde se va a recuperar es constante todo el día de producción.

La temperatura promedio, máxima y mínima que va a la torre de enfriamiento luego de estar en el tanque pulmón, se calculan con el balance energético que se utiliza en la Línea 3.

El nivel del líquido en la cisterna va a estar en los 3145 litros, es decir que se toma un factor de seguridad del 50% (factor de diseño).

Se considera que con la recuperación de estos efluentes líquidos se va a lograr colocar esta agua en los tanques de almacenamiento de la pasteurizadora para

enfriamiento y lavadora de cajas, al igual que se podrá mantener el nivel del líquido en la cisterna con la ayuda del agua que va a seguir ingresando y además el agua de reposición por pérdidas evaporativas que se calcula para la Línea 2 del proceso de embotellado.

### **Temperatura que se encuentra el Agua Recuperada en la Torre de Enfriamiento.**

Para obtener esta temperatura se realiza el mismo balance energético que se utiliza para obtener la temperatura en el tanque de recuperación en la Línea 3.

Las condiciones que tendrán los efluentes líquidos al ingresar al tanque pulmón y luego ir a la torre de enfriamiento son:

	Caudal (l/s)	T° promedio (°C)	T° máxima (°C)	T° mínima (°C)
Pasteurizadora Sal 1	0.31	47.11	47.71	46.50
Pasteurizadora Sal 2	0.19	62.88	63.92	62.14
Pasteurizadora Sal 3	0.30	53.65	59.50	50.57
Pasteurizadora Sal 4	1.11	48.98	52.50	45.43
Tanque pulmón	1.91	50.79	53.96	48.07

Caudal de entrada a la torre de enfriamiento = 1.91 l/s

Caudal de entrada a la cisterna de recuperación = 1.873 l/s (pérdidas evaporativas)

Volumen total de la cisterna = 6.29 m<sup>3</sup> (6290l)

Volumen del Líquido que siempre estará = 3.145 m<sup>3</sup> (3145l).

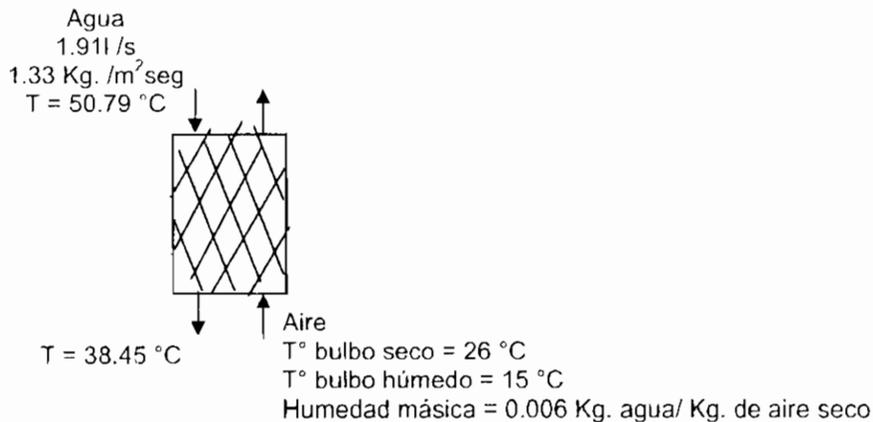
### **Dimensionamiento de la Torre de Enfriamiento en la Línea 2.**

La torre de enfriamiento que va a ser utilizada en la Línea 3 tiene que bajar la temperatura del agua desde 50.79°C a una temperatura de 38.45°C, que es la temperatura de salida del actual efluente de la lavadora de botellas que reutilizan para llevarlo a la pasteurizadora.

Esta torre de enfriamiento va a hacer de base cuadrangular de 1.20 m de lado, teniendo un área de contacto de 1.44 m<sup>2</sup>.

Las condiciones del aire son las mismas que se anota en la torre de enfriamiento de la Línea 3.

Mediante la ecuación 1-2 y con la curva de operación del agua y el aire utilizado (Entalpía vs. Temperatura) se procede a calcular la altura de la torre de enfriamiento.



Las condiciones que va a tener esta torre de enfriamiento son:

Flujo de aire mínimo = 0.28 Kg. /m<sup>2</sup>seg (0.41 Kg. /seg.)

Flujo del líquido = 1.33 Kg. /m<sup>2</sup>seg (1.91 l/seg.)

Relleno polipropileno virgen =  $K_{ya} = 2.085 \text{ Kg. /m}^3\text{seg.}$

Altura de la torre de enfriamiento = 1.24 m.

Potencia del ventilador = 0.75 HP a 960 RPM.

Altura del relleno en el interior de la torre = 0.41 m.

Cantidad de calor evacuado 81194 Cal/h.

Cantidad de agua evaporada 0.037 l/seg.

### Tiempo de Retención del Agua Recuperada en la Cisterna.

Tiempo de retención en la cisterna (Línea 2) = 47.67 min. (48 min.)

Volumen del Líquido en la cisterna = 3145 l.

Caudal de salida en la pasteurizadora Salida (1, 2, 3, 4) = 1.91 l/s.

Caudal total que ingresa a la cisterna de recuperación = 1.91 l/s.

$$t_{\text{tiemporetención}} = \frac{\text{Vol. líquido en la cisterna}}{\text{Caudal de entrada a la cisterna}}$$

Tiempo de retención en el tanque de recuperación (Línea 2) = 27.44 min. (27 min.)

### **Tiempo de Retención del Agua Recuperada en la Torre de Enfriamiento.**

Volumen del relleno en el interior de la torre de enfriamiento =  $0.41 \text{ m}^3$ .

Caudal total que ingresa a la torre de enfriamiento =  $1.91 \text{ l/s}$ .

$$\text{tiemporetención} = \frac{\text{Volumen de la torre de enfriamiento}}{\text{Caudal de entrada a la torre de enfriamiento}}$$

Tiempo de retención en la torre de enfriamiento (Línea 2) =  $3.57 \text{ min}$ .

### **Cantidad de Agua General que sigue ingresando a la Línea 2.**

Solamente se toma en cuenta el consumo de agua general, puesto que esta agua es la que se necesita en las máquinas donde se va a reutilizar.

Agua general que entra =  $2.22 \text{ l/s}$ .

Agua recirculada =  $1.91 \text{ l/s}$ .

Agua que sigue ingresando a la L-2 =  $(2.22 - 1.91) \text{ l/s} = 0.31 \text{ l/s}$ .

### **Cantidad de Agua de Reposición por Pérdidas Evaporativas que se necesita en la Línea 2**

El agua de reposición en la L-2 debido a la evaporación del agua, que se producen en la pasteurizadora y lavadora de botellas, además por el agua que se evapora en la torre de enfriamiento.

La cantidad de agua de reposición en la pasteurizadora y lavadora de botellas es  $0.089 \text{ l/s}$ .

Agua de reposición debido a pérdidas evaporativas en la torre de enfriamiento =  $0.037 \text{ l/seg}$ .

Agua total de reposición en la L-2 =  $0.126 \text{ l/seg}$ .

### **Tiempo que se debe abrir la Válvula para que Ingrese Agua General en la Línea 2**

Este tiempo es para saber cuando tengo que cerrar la válvula del agua general para tener lleno los tanques de almacenamiento en la pasteurizadora, lavadora de cajas y llegar hasta el nivel de líquido que debe tener la cisterna ( $3.145 \text{ m}^3$ ).

Generalmente el flujo del agua general y ablandada corresponde cuando se tiene abierta la válvula a la mitad, al igual que en la Línea 3, por lo que para este tiempo se usa el flujo cuando la válvula está totalmente abierta.

Volumen que queda en los tanques de almacenamiento de la lavadora de botellas, lavadora de cajas y pasteurizadora.

Pasteurizadora =  $4.2 \text{ m}^3 / \text{tanque} = 7 \text{ tanques} = 29.4 \text{ m}^3 \cdot 0.8 = 23.52 \text{ m}^3$ .

Lavadora de cajas =  $0.172 \text{ m}^3 / \text{tanque} = 2 \text{ tanques} = 0.344 \text{ m}^3$ .

Volumen total que queda en las máquinas =  $23.864 \text{ m}^3$ .

Volumen del nivel líquido en la cisterna =  $3.145 \text{ m}^3$ .

Volumen total =  $27.009 \text{ m}^3$ .

Caudal que ingresa el agua general (válvula media abierta) =  $2.22 \text{ l/s}$ .

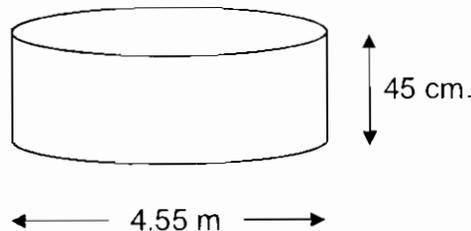
Caudal que ingresa el agua general (válvula totalmente abierta) =  $4.44 \text{ l/s}$ .

$$\text{Tiempo que se abre la válvula} = \frac{\text{Volumen en las máquinas} + \text{Volumen del nivel líquido en cisterna}}{\text{Caudal de agua general que ingresa en l.} - 2}$$

Tiempo que se abre totalmente la válvula de agua general en la L-2 =  $101.38 \text{ min.}$   
(1h 40min).

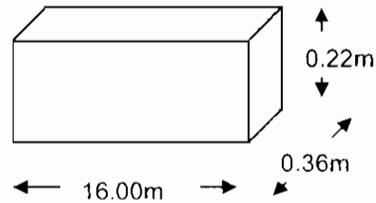
### **Base donde va a estar asentado el Soporte donde se va a Asentar la Torre de Enfriamiento en la Línea 2.**

Esta base va a ser de hormigón en muros,  $f_c' = 210 \text{ Kg. /cm}^2$ , equipo: concreteira, 1 saco, vibrador, encofrado su costo es  $136.70 \text{ USD}$  por metro cúbico, este precio fue dado por la empresa CÁMARA DE CONSTRUCCIÓN DE PICHINCHA, el volumen de la base donde va a asentar el soporte metálico que sostiene a la torre de enfriamiento y al tanque de recuperación en la Línea 3 es de  $7.32 \text{ m}^3$ . El costo total es de  $1000.64 \text{ USD}$ .



### Tanque Pulmón que se necesita para bombear los Efluentes Líquidos de la Pasteurizadora.

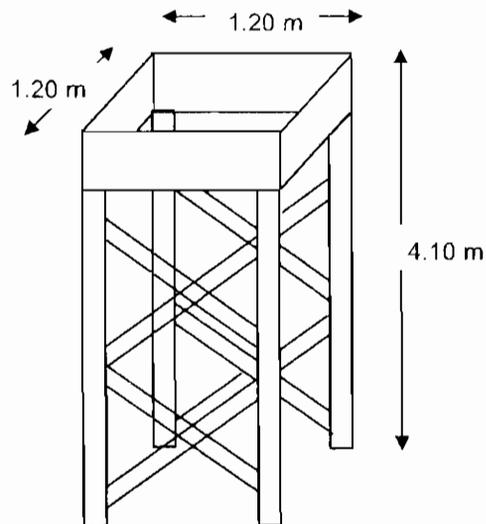
El material que se usará para la construcción de este tanque es plancha 1220\*2440\*4 m, cada unidad pesa 93 Kg. /unidad con un costo de 2 USD/Kg. Estas cantidades fueron dadas por la CAMARA DE CONSTRUCCIÓN. El costo total es 739 USD.



### Soporte Metálico donde se va a Asentar la Torre de Enfriamiento.

Se utilizará perfil de hierro canal C 100\*50\*3mm, cuya unidad mesa 14.46 Kg. /6m con un costo de 2.5 USD/Kg.

Se utilizará un total de 53.6 m. El costo total para la construcción e instalación de este soporte es 403.68 USD.



### ANEXO 3 Dimensionamiento del Sistema de Recuperación y Reutilización de la LÍNEA 3

#### Sistema de Recuperación.

#### Dimensionamiento de Bomba y Tubería de la Pasteurizadora.

Para recuperar este efluente se necesita los siguientes accesorios y condiciones:

Longitud de la tubería (l) = 66.45 m

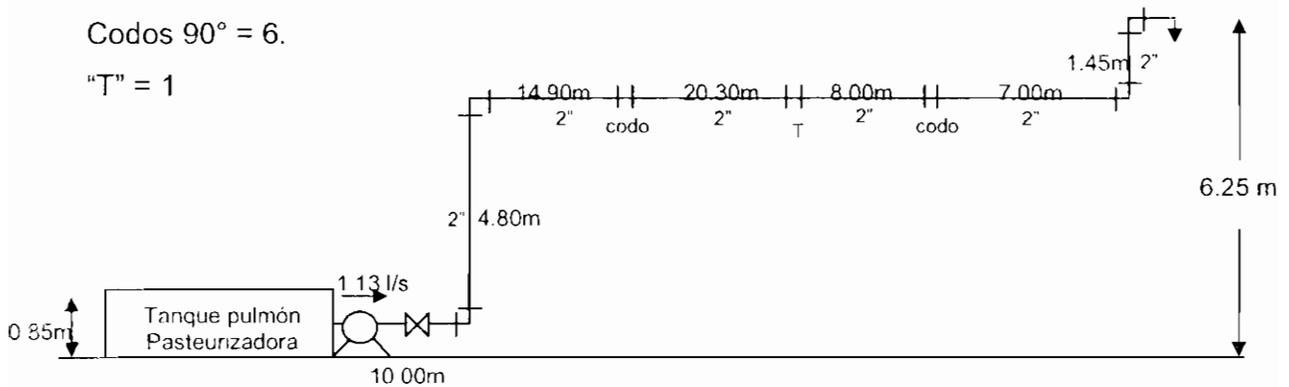
Diámetro de la tubería (D) = 5.25 cm.

Caudal (q) = 1.13 l/s

Válvulas = 1.

Codos 90° = 6.

"T" = 1



Se obtiene la velocidad:

$$v = \frac{q}{A} = \frac{4 * q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 1.13 \text{ l/s}}{\pi * (0.0525)^2 \text{ m}^2} * \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ l}}$$

$v = 0.52 \text{ m/s}$ .

El material de la tubería es de hierro galvanizado, rugosidad  $\epsilon = 0.015 \text{ cm}$ .

La rugosidad relativa es  $\epsilon / D = 0.00286$

Con el dato de la viscosidad cinemática  $\nu_{50^\circ\text{C}} = 0.556 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  (OCÓN TOJO), el valor del Reynolds es  $Re = 491000.72$  lo que constituye que está en régimen turbulento.

Con los valores de la rugosidad relativa y el Reynolds se obtiene el factor de Darcy observando el diagrama de Moody, en donde  $f = 0.0225$ .

Con los valores calculados con anterioridad se calcula las pérdidas friccionales, puesto que hay un solo tamaño de tubería, por lo tanto el valor de  $h_{\text{fricción}} = 37.73 \text{ m}$ .

Luego se calcula las pérdidas localizadas o menores, tomando en cuenta lo siguiente:

$K_{\text{codo } 90^\circ} = 0.75$ ,  $K_{\text{válvula abierta completamente}} = 0.17$ ,  $K_{\text{entrada torre}} = 1$ ,  
 $K_{\text{salida tanque pulmón}} = 0.5$ ,  $K_{\text{T}} = 1$ .

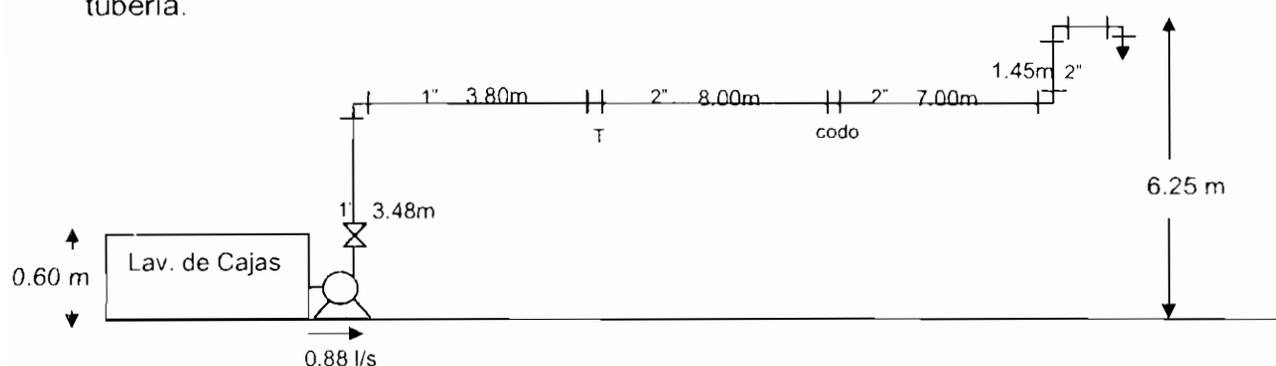
El valor de  $hf_{\text{localizadas}} = 10.56\text{m}$ .

La altura total de bombeo se obtiene con la ecuación 1-4 y es  $53.69\text{ m}$ .

Se tiene como potencia un valor de  $\frac{3}{4}\text{ HP}$  con la ayuda de la ecuación 1-5.

### **Dimensionamiento de Bomba y Tubería de la Lavadora de Cajas.**

Aquí hay 3 tramos donde se identifica en la siguiente figura diferentes tamaños de tubería.



Se necesita los siguientes accesorios y condiciones:

#### Tramo 1:

Longitud de la tubería ( $l_1$ ) =  $7.28\text{ m}$ , Diámetro de la tubería ( $D_1$ ) =  $2.67\text{ cm}$ ., Caudal ( $q_1$ ) =  $0.88\text{ l/s}$ , Válvula =  $1$ , Codos  $90^\circ = 1$ , "T" =  $1$ ,  $v_1 = 1.57\text{ m/s}$ ,  $\epsilon / D_1 = 0.00562$ ,  $Re_1 = 41462.90$ ,  $f_1 = 0.03$ .

#### Tramo 2:

Longitud de la tubería ( $l_2$ ) =  $16.45\text{ m}$ , Diámetro de la tubería ( $D_2$ ) =  $5.25\text{ cm}$ ., Caudal ( $q_2$ ) =  $0.88\text{ l/s}$ , Codos  $90^\circ = 3$ ,  $v_2 = 0.41\text{ m/s}$ ,  $\epsilon / D_2 = 0.00286$ ,  $Re_2 = 21290.80$ ,  $f_2 = 0.026$ ,  $hf_{\text{fricción}} = 0.1253\text{ m}$ .

Luego se calcula las pérdidas localizadas o menores tomando en cuenta lo siguiente:

$K_{\text{codo } 90^\circ} = 0.75$ ,  $K_{\text{válvula abierta completamente}} = 0.17$ ,  $K_{\text{entrada torre}} = 1$ ,  $K_{\text{salida del tanque}} = 1$ ,  $K_{\text{T}} = 1$ .

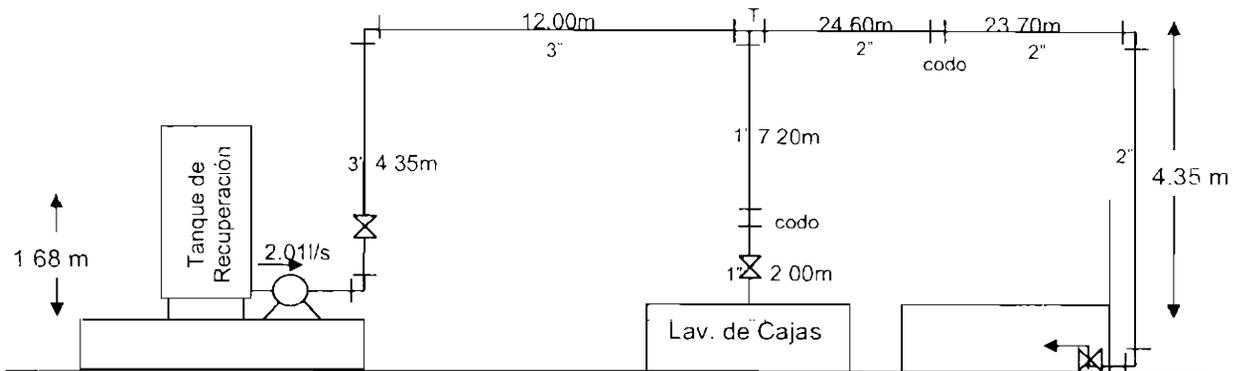
El valor de  $hf_{\text{localizadas}} = 0.088\text{ m}$ .

La altura total de bombeo  $180.52\text{ m}$ .

Se tiene una potencia de  $\frac{1}{2}\text{ HP}$ .

### Sistema de Reutilización.

Aquí hay 3 tramos donde se identifica en la siguiente figura diferentes tamaños de tubería.



Se necesitan los siguientes accesorios y condiciones:

#### Tramo 1:

Longitud de la tubería ( $l_1$ ) = 16.80 m, Diámetro de la tubería ( $D_1$ ) = 7.79 cm., Caudal ( $q_1$ ) = 2.01 l/s, Válvula = 1, Codos  $90^\circ$  = 2, "T" = 1,  $v_1$  = 0.42 m/s,  $\epsilon / D_1$  = 0.00192,  $Re_1$  = 40744.71,  $f_1$  = 0.023.

#### Tramo 2:

Longitud de la tubería ( $l_2$ ) = 9.20 m, Diámetro de la tubería ( $D_2$ ) = 2.67 cm., Caudal ( $q_2$ ) = 0.88 l/s, Válvula = 1, Codos  $90^\circ$  = 1,  $v_2$  = 1.57 m/s,  $\epsilon / D_2$  = 0.00562,  $Re_2$  = 52202.98,  $f_2$  = 0.03.

#### Tramo 3:

Longitud de la tubería ( $l_3$ ) = 53.1 m, Diámetro de la tubería ( $D_3$ ) = 5.25 cm., Caudal ( $q_3$ ) = 1.13 l/s, Válvula = 1, Codos  $90^\circ$  = 4,  $v_3$  = 0.52 m/s,  $\epsilon / D_3$  = 0.00286,  $Re_3$  = 33997.51,  $f_3$  = 0.025,  $h_{f_{fricción}}$  = 162.64 m.

Luego se calcula las pérdidas localizadas o menores, tomando en cuenta lo siguiente:

$K$  codo  $90^\circ$  = 0.75,  $K$  válvula abierta completamente = 0.17,  $K$  entrada a los depósitos de la Lavadora de cajas y Pasteurizadora = 1,  $K$  salida del tanque = 0.5.

El valor de  $h_{f_{localizadas}}$  = 96.01 m.

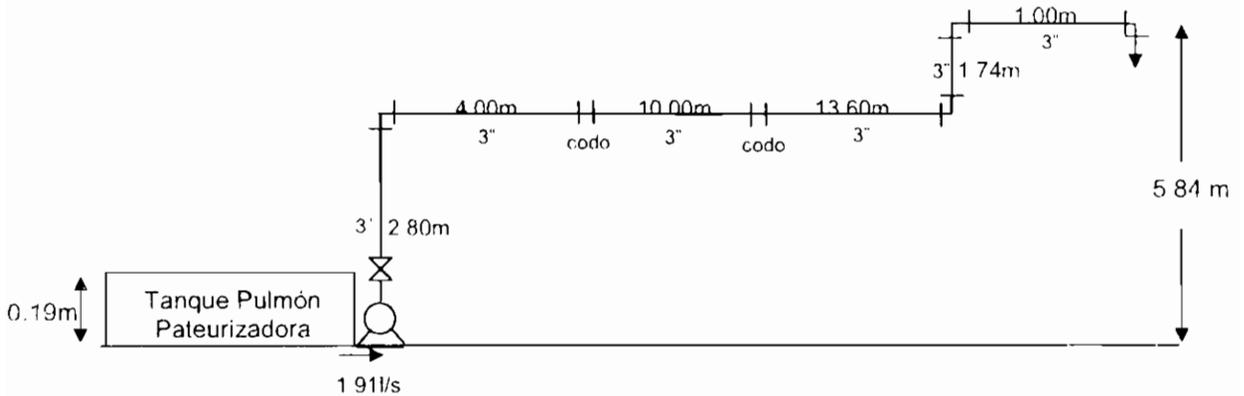
La altura total de bombeo es 261.32 m.

Se tiene una potencia de 1 HP.

## ANEXO 4 Dimensionamiento del Sistema de Recuperación y Reutilización de la LÍNEA 2

### Sistema de Recuperación.

#### Dimensionamiento de Bomba y Tubería de la Pasteurizadora.



Se necesita los siguientes accesorios y condiciones:

Longitud de la tubería ( $l_1$ ) = 33.14 m, Diámetro de la tubería ( $D_1$ ) = 7.79 cm.,  
 Caudal ( $q_1$ ) = 1.91 l/s, Válvula = 1, Codos 90° = 6,  $v = 0.39$  m/s,  $\epsilon / D = 0.00192$ ,  
 $Re = 54642.09$ ,  $f = 0.023$ ,  $hf_{fricción} = 7.29$  m.

Luego se calcula las pérdidas localizadas o menores, tomando en cuenta lo siguiente:

$K_{codo\ 90^\circ} = 0.75$ ,  $K_{válvula\ abierta\ completamente} = 0.17$ ,  $K_{entrada\ torre} = 1$ ,  
 $K_{salida\ tanque} = 0.5$ .

El valor de  $hf_{localizadas} = 4.59$  m.

La altura total de bombeo es 17.53 m.

Se tiene una potencia de 2 HP.

## ANEXO 5 Seleccionamiento de las Bombas ha utilizarse con la ayuda de Catálogos.

Como en el anexo 3 y 4 se dimensiona las bombas a utilizarse, entonces se procede a ver el tipo y modelo en los catálogos. (18)

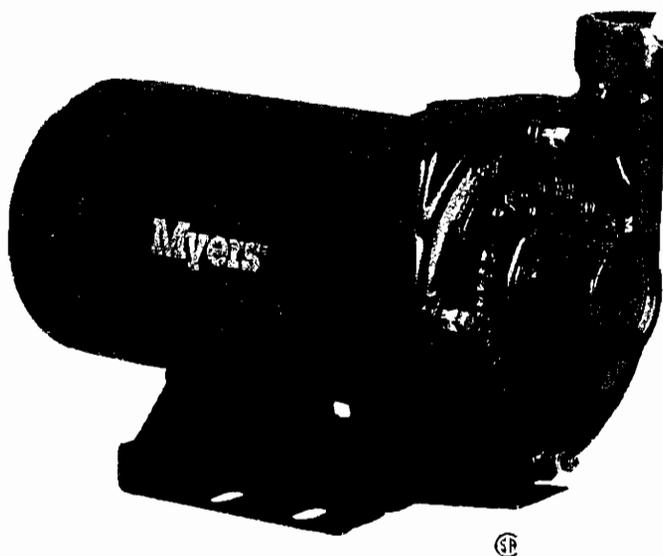
Catalog Number				Motor HP	Capacity in U.S. Gallons per Minute							Pipe Size	
Composite Impeller		Brass Impeller			Total Head in Feet							Suction	Discharge
1 Phase	3 Phase	1 Phase	3 Phase		50	60	70	80	90	100	110		
CT05	CT053	CT05B	CT05B3	½	23	18	12					1-1/4"	1"
CT07	CT073	CT07B	CT07B3	¾	35	29	23	15				1-1/4"	1"
CT10	CT103	CT10B	CT10B3	1	44	39	34	27				1-1/4"	1"
CT15	CT153	CT15B	CT15B3	1-1/2		51	46	42	36	28		1-1/4"	1"
CT20	CT203	CT20B	CT20B3	2			62	54	45	35		1-1/2"	1-1/4"
CT25	CT253	CT25B	CT25B3	2-1/2			70	63	57	48	41	2"	1-1/2"

El tipo de bomba que satisface todos los requerimientos para el bombeo tanto en la recuperación como en la reutilización es el siguiente:

BOMBA CENTRÍFUGA STANDARD C-Motor, 115/230V., 60C., 1 ETAPA, Succión 1-1/4" y Descarga 1".

CT-05B ½ HP, CT-07B ¾ HP, CT-05B 1 HP.

Esta bomba se presenta en la siguiente figura:



## ANEXO 6 Situación Económica debido al Condensado que se pierde.

### Línea 3:

Condensado que se pierde: 81731.67 Kg. /mes (817.32 Hl. /mes).

(9807.84 Hl. /año), (425.68 Kg. /h).

Costo del bunker: 0.58 USD/galón. (Costo nominal de la empresa)

Poder calorífico del bunker: 149100 BTU/galón.

El condensado sale a 91°C y se enfría hasta la temperatura ambiente = 26°C.

$\dot{q} = 425.68 \text{ Kg. /h.}$  (Flujo másico de condensado perdido).

$C_p_{(26^\circ\text{C})} = 0.99885 \text{ Kcal. / Kg. } ^\circ\text{C.}$

1 BTU = 252 calorías.

$Q = \dot{q} * C_p * \Delta T$  (Calor).

$Q = \dot{q} * C_p * (91-26)$

$Q_{\text{pierde el condensado L-3}} = 109672.14 \text{ BTU/h}$

$$\text{Combustible perdido L-3} = \frac{\text{Calor pierde el condensado L-3}}{\text{Poder calorífico del combustible}}$$

Combustible perdido L-3 = 0.7356 galón bunker/h

$$0.7356 \frac{\text{galón bunker}}{\text{h}} * \frac{0.58 \text{ USD}}{\text{galón bunker}} * \frac{192 \text{ h}}{\text{mes}} * \frac{12 \text{ meses}}{\text{año}} = 982.94 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

Se pierde en la Línea 3: 982.94 USD/año o 81.91 USD/mes

### Línea 2:

Condensado que se pierde: 35385.33 Kg. /mes (353.85 Hl. /mes).

(4246.2 Hl. /año), (276.45 Kg. /h).

Costo del bunker: 0.58 USD/galón. (Costo nominal de la empresa)

Poder calorífico del bunker: 149100 BTU/galón.

El condensado sale a 91°C y se enfría hasta la temperatura ambiente = 26°C.

$\dot{q} = 276.45 \text{ Kg. /h.}$  (Flujo másico de condensado perdido).

$C_p_{(26^\circ\text{C})} = 0.99885 \text{ Kcal. / Kg. } ^\circ\text{C.}$

1 BTU = 252 calorías.

$Q = \dot{q} * C_p * \Delta T$  (Calor).

$Q = \dot{q} * C_p * (91-26)$

$Q_{\text{pierde el condensado L-2}} = 71224.543 \text{ BTU/h}$

$$\text{Combustible perdido } L-2 = \frac{\text{Calor pierde el condensado } L-2}{\text{Poder calorífico del combustible}}$$

Combustible perdido L-3 = 0.4777 galón bunker/h

$$0.4777 \frac{\text{galón bunker}}{\text{h}} * \frac{0.58 \text{ USD}}{\text{galón bunker}} * \frac{128 \text{ h}}{\text{mes}} * \frac{12 \text{ meses}}{\text{año}} = 425.57 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

Se pierde en la Línea 2: 425.57 USD/año o 35.46 USD/mes.

En total se pierden las 2 líneas de producción:

1408.51 USD/año (117.37 USD/mes).

## **ANEXO 7 Cantidad y Beneficio Económico de Agua Ablandada, Agua General y Agua Residual Tratada que se ahorrará al Recuperar los Efluentes Líquidos.**

### **Línea 3.**

La Línea 3 trabaja 14.33 días /mes (229.28 horas /mes).

#### **Cantidad de Agua Ablandada Ahorrada.**

##### **Situación Actual.**

$X = 5.16 \text{ l/s (1064.78 m}^3 \text{ /semana)}$ .

##### **Situación Esperada.**

Vol. Máq. Pasteurizadora =  $33.6 \text{ m}^3$  ( $4.2 \text{ m}^3$ /tanque, 8 tanques)/día aseo =  $67.16 \text{ m}^3$  /semana

Vol. Máq. Lav Cajas =  $4.8 \text{ m}^3$  (1 tanque)/día aseo =  $9.56 \text{ m}^3$  /semana.

Vol. Nivel Tanque recuperación =  $1.5 \text{ m}^3$  (1500 l)/día aseo =  $3 \text{ m}^3$  /semana.

Agua recirculada =  $2.01 \text{ l/s}$ .

Agua que sigue ingresando a la L-3 =  $(5.16 - 2.01) \text{ l/s} = 3.15 \text{ l/s}$  ( $650.01 \text{ m}^3$  /semana).

Agua de reposición total por pérdida evaporativas en la L-3 =  $0.07203 \text{ l/seg}$ . ( $124.50 \text{ Hl.}$  /semana).

**$Y = \text{Vol. Maq. L-3 (paste.+ lav. cajas) + Vol. Nivel Tanque recup. + Agua ablandada que sigue ingresando a L-3 + Agua de reposición total por pérdidas evaporativas L-3.}$**

$Y = 789.16 \text{ m}^3$  /semana.

Ahorro de agua ablandada:  $X - Y = 275.62 \text{ m}^3$  /semana ( $132297.6 \text{ Hl.}$  /año)

#### **Beneficio Económico del Agua Ablandada Ahorrada.**

Como se observa en las figuras 2-1, 2-2, el agua que se usa para las máquinas donde se va a reutilizar el agua recuperada es solamente agua ablandada, y su precio es de  $0.44 \text{ USD/m}^3$  (costo nominal de la empresa).

El beneficio económico del agua ablandada ahorrada es  $4974,99 \text{ USD/año}$ , se toma en cuenta los costos variables adicionales.

### Línea 2.

La Línea 2 trabaja 8 días /mes (128 horas /mes).

#### **Cantidad de Agua General Ahorrada.**

##### **Situación Actual.**

$X = 2.22 \text{ l/s (} 255.74 \text{ m}^3 \text{ /semana)}$ .

##### **Situación Esperada.**

Vol. Máq. Pasteurizadora =  $29.4 \text{ m}^3$  ( $4.2\text{m}^3/\text{tanque}$ , 7 tanques)/día aseo =  $84.19 \text{ m}^3 \text{ /semana}$ .

Vol. Máq. Lav Cajas =  $0.344 \text{ m}^3$  ( $0.172\text{m}^3/\text{tanque}$ , 2 tanques)/día aseo =  $1.24 \text{ m}^3 \text{ /semana}$

Vol. Nivel Cisterna recuperadora L-2 =  $3.145 \text{ m}^3$  (3145 l)/día aseo =  $11.27 \text{ m}^3 \text{ /semana}$

Agua recirculada =  $1.91 \text{ l/s}$ .

Agua que sigue ingresando a la L-2 =  $(2.22 - 1.91) \text{ l/s} = 0.31 \text{ l/s}$   
( $35.712 \text{ m}^3 \text{ /semana}$ )

**Y = Vol. Maq. L-2 (paste.+ lav. cajas) + Vol. Nivel Cisterna recup. + Agua general que sigue ingresando a L-2 + Agua de reposición total por pérdidas evaporativas L-2**

$Y = 146.93 \text{ m}^3 \text{ /semana}$ .

Ahorro de agua general:  $X - Y = 108.81 \text{ m}^3 \text{ /semana (} 52228.8 \text{ Hl. /año)}$

#### **Beneficio Económico del Agua General Ahorrada.**

Como se observa en las figuras 2-3,2-4, el agua que se usa para las máquinas donde se va a reutilizar el agua recuperada es solamente agua general, y su precio es de  $0.24 \text{ USD/m}^3$  (costo nominal de la empresa).

El beneficio económico del agua ahorrada es  $407.39 \text{ USD/año}$ , se toma en cuenta los costos variables adicionales.

## **Cantidad y Beneficio Económico de Agua Residual Tratada Ahorrada.**

### **Cantidad de Agua Residual Tratada Ahorrada.**

#### **Línea 3**

Cantidad de agua residual tratada ahorrada = 2.01 l/s = 199088.4096 Hl. /año.

#### **Línea 2**

Cantidad de agua residual tratada ahorrada = 1.91 l/s = 105615.36 Hl. /año.

### **Total de Agua Residual Tratada Ahorrada**

Se ahorra un total de 304703.77 Hl. /año de agua residual tratada.

### **Beneficio Económico del Agua Residual Tratada Ahorrada.**

El costo operativo nominal que tiene la empresa para tratar el agua residual es de 0.15 USD/m<sup>3</sup>.

El beneficio económico del ahorro de agua residual tratada es 3724.45 USD/año, se toma en cuenta los costos variables adicionales.

## ANEXO 8 Parámetros Importantes de los Efluentes Líquidos del Proceso de Embotellado.

### Línea 3

#### Lavadora de Botellas.

	Promedio	Desv. Stand	Máximo	Mínimo
pH	12,51	0,27	12,75	11,99
T° (°C)	48,39	0,77	49,79	47,50
Caudal (l/s)	6,39	0,74	7,51	5,38
DBO(mgO <sub>2</sub> /l)	251,05	20,63	288,99	227,14
DQO(mgO <sub>2</sub> /l)	2323,02	161,82	2606,07	2132,00
DQO/DBO	9,36	1,13	11,47	7,98
Sól. Suspendidos(mg/l)	107,11	4,37	116,00	102,00

#### Lavadora de Cajas. Salida 1

	Promedio	Desv. Stand	Máximo	Mínimo
pH	8,13	0,18	8,38	7,86
T° (°C)	25,93	0,56	26,71	24,79
Caudal (l/s)	0,48	0,07	0,58	0,35
DBO(mgO <sub>2</sub> /l)	16,45	2,23	19,06	13,40
DQO(mgO <sub>2</sub> /l)	36,43	3,25	43,18	33,44
DQO/DBO	2,13	0,29	2,60	1,88
Sól. Suspendidos(mg/l)	62,29	1,80	64,00	60,00

#### Lavadora de Cajas. Salida 2

	Promedio	Desv. Stand	Máximo	Mínimo
pH	8,25	0,13	8,35	7,94
T° (°C)	26,73	0,75	27,64	25,21
Caudal (l/s)	0,40	0,03	0,46	0,35
DBO(mgO <sub>2</sub> /l)	9,36	0,61	10,11	8,44
DQO(mgO <sub>2</sub> /l)	56,27	3,86	62,70	51,76
DQO/DBO	5,97	0,75	6,69	5,20
Sól. Suspendidos(mg/l)	35,43	2,23	38,00	32,00

**Pasteurizadora.**

	Promedio	Desv. Stand	Máximo	Mínimo
pH	8,08	0,36	8,54	7,45
T° (°C)	49,46	0,55	50,14	48,79
Caudal (l/s)	1,13	0,12	1,27	0,98
DBO(mgO <sub>2</sub> /l)	24,46	2,81	30,43	21,56
DQO(mgO <sub>2</sub> /l)	354,59	9,81	369,09	335,37
DQO/DBO	14,58	1,48	16,50	11,67
Sól. Suspendidos(mg/l)	25,00	2,83	28,00	22,00

**Envasadora B1.**

	Promedio	Desv. Stand	Máximo	Mínimo
pH	7,74	0,18	8,06	7,42
T° (°C)	33,20	0,64	33,60	31,34
Caudal (l/s)	0,41	0,04	0,50	0,36
DBO(mgO <sub>2</sub> /l)	75,46	5,13	86,44	70,71
DQO(mgO <sub>2</sub> /l)	647,90	25,17	691,21	620,05
DQO/DBO	8,55	0,66	9,36	7,17
Sól. Suspendidos(mg/l)	13,33	1,03	18,00	12,00

**Envasadora B2.**

	Promedio	Desv. Stand	Máximo	Mínimo
pH	7,69	0,45	8,15	6,60
T° (°C)	33,34	1,59	36,00	31,07
Caudal (l/s)	0,33	0,04	0,37	0,27
DBO(mgO <sub>2</sub> /l)	100,49	13,08	111,18	76,17
DQO(mgO <sub>2</sub> /l)	992,08	88,13	1104,59	858,58
DQO/DBO	9,99	1,89	14,50	7,91
Sól. Suspendidos(mg/l)	26,57	4,43	32,00	20,00

**Línea 2****Lavadora de Botellas. Salida A.**

	<b>Promedio</b>	<b>Desv. Stand</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
pH	11,17	0,09	11,33	11,09
T° (°C)	51,28	1,23	53,00	49,99
Caudal (l/s)	0,61	0,06	0,69	0,54
DBO(mgO <sub>2</sub> /l)	363,13	9,87	375,00	355,00
DQO(mgO <sub>2</sub> /l)	7664,15	87,10	7774,96	7552,03
DQO/DBO	21,19	0,40	21,61	20,73
Sól. Suspendidos(mg/l)	153,60	3,58	158,00	150,00

**Lavadora de Botellas. Salida C.**

	<b>Promedio</b>	<b>Desv. Stand</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
pH	13,08	0,15	13,34	12,95
T° (°C)	53,72	4,63	57,71	44,71
Caudal (l/s)	0,47	0,02	0,50	0,44
DBO(mgO <sub>2</sub> /l)	52,84	3,59	55,00	47,50
DQO(mgO <sub>2</sub> /l)	283,00	14,67	302,10	264,74
DQO/DBO	5,45	0,45	6,02	4,94
Sól. Suspendidos(mg/l)	197,60	6,07	206,00	190,00

**Lavadora de Botellas. Salida D.**

	<b>Promedio</b>	<b>Desv. Stand</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
pH	11,713	0,366	12,080	11,260
T° (°C)	38,450	3,266	43,210	33,710
Caudal (l/s)	1,499	0,026	1,540	1,467
DBO(mgO <sub>2</sub> /l)	54,692	2,003	57,500	53,175
DQO(mgO <sub>2</sub> /l)	244,501	15,274	269,494	222,938
DQO/DBO	4,600	0,364	5,053	4,224
Sól. Suspendidos(mg/l)	42,800	1,095	44,000	42,000

**Envasadora.**

	Promedio	Desv. Stand	Máximo	Mínimo
pH	7,50	0,13	7,68	7,36
T° (°C)	26,06	0,44	26,64	25,36
Caudal (l/s)	0,23	0,03	0,26	0,19
DBO(mgO <sub>2</sub> /l)	335,75	8,20	345,49	325,00
DQO(mgO <sub>2</sub> /l)	2796,80	87,85	2938,58	2717,06
DQO/DBO	8,33	0,35	8,83	7,94
Sól. Suspendidos(mg/l)	32,00	1,63	34,00	30,00

**Pasteurizadora. Salida 1.**

	Promedio	Desv. Stand	Máximo	Mínimo
pH	10,41	0,08	10,51	10,30
T° (°C)	47,11	0,48	47,71	46,50
Caudal (l/s)	0,31	0,02	0,33	0,29
DBO(mgO <sub>2</sub> /l)	74,54	1,11	76,21	73,99
DQO(mgO <sub>2</sub> /l)	202,77	3,70	209,00	198,82
DQO/DBO	2,71	0,03	2,74	2,69
Sól. Suspendidos(mg/l)	71,60	1,67	74,00	70,00

**Pasteurizadora. Salida 2.**

	Promedio	Desv. Stand	Máximo	Mínimo
pH	10,58	0,13	10,77	10,43
T° (°C)	62,88	0,75	63,92	62,14
Caudal (l/s)	0,19	0,02	0,22	0,18
DBO(mgO <sub>2</sub> /l)	26,53	0,87	27,55	25,75
DQO(mgO <sub>2</sub> /l)	188,35	6,04	195,07	181,14
DQO/DBO	7,11	0,36	7,57	6,58
Sól. Suspendidos(mg/l)	30,80	1,10	32,00	30,00

**Pasteurizadora. Salida 3.**

	<b>Promedio</b>	<b>Desv. Stand</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
<b>pH</b>	10,46	0,12	10,59	10,25
<b>T° (°C)</b>	53,65	3,32	59,50	50,57
<b>Caudal (l/s)</b>	0,30	0,01	0,32	0,29
<b>DBO(mgO<sub>2</sub>/l)</b>	62,52	2,18	65,16	60,00
<b>DQO(mgO<sub>2</sub>/l)</b>	166,21	2,97	168,13	160,24
<b>DQO/DBO</b>	2,68	0,08	2,78	2,58
<b>Sól. Suspendidos(mg/l)</b>	54,80	1,10	56,00	54,00

**Pasteurizadora. Salida 4.**

	<b>Promedio</b>	<b>Desv. Stand</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
<b>pH</b>	10,84	0,07	10,94	10,75
<b>T° (°C)</b>	48,98	2,41	52,50	45,43
<b>Caudal (l/s)</b>	1,11	0,02	1,13	1,05
<b>DBO(mgO<sub>2</sub>/l)</b>	25,12	1,95	27,75	22,27
<b>DQO(mgO<sub>2</sub>/l)</b>	136,88	4,66	139,34	125,40
<b>DQO/DBO</b>	5,45	0,45	6,26	4,85
<b>Sól. Suspendidos(mg/l)</b>	44,50	1,91	46,00	42,00

## ANEXO 9 Parámetros Secundarios de los Efluentes Líquidos del Proceso de Embotellado.

### Línea 3

#### *Lavadora de Botellas.*

	Promedio	Desv. Stand	Máximo	Mínimo
<b>Vol.descarga(Hl./mdia)</b>	1517,33	44,68	1570,11	1436,09
Indice (Hl.descar./Hl.cerv.envas.)	0,87	0,20	1,17	0,63
<b>Alcal. parcial(ppmCaCO3)</b>	693,32	50,52	780,80	571,60
<b>Alcal. total(ppmCaCO3)</b>	1108,24	93,24	1268,30	964,40
<b>Dureza total(ppmCaCO3)</b>	14,31	2,52	18,00	10,40
<b>Dureza cálcica(ppmCaCO3)</b>	8,22	1,27	9,80	6,60
<b>Sol.Totales(mg/l)</b>	2266,00	56,61	2340	2160
<b>Sol.Disueltos(mg/l)</b>	2151,11	64,12	2240	2020
<b>Sol. Sedimentables(ml/l)</b>	0,93	0,11	1,1	0,8

#### *Lavadora de Cajas. Salida 1.*

	Promedio	Desv. Stand	Máximo	Mínimo
<b>Vol.descarga(Hl./mdia)</b>	110,51	5,85	119,90	102,21
Indice (Hl.descar./Hl.cerv.envas.)	0,07	0,01	0,09	0,04
<b>Alcal. parcial(ppmCaCO3)</b>	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Alcal. total(ppmCaCO3)</b>	194,89	10,12	207,70	184,70
<b>Dureza total(ppmCaCO3)</b>	49,89	5,99	57,20	41,60
<b>Dureza cálcica(ppmCaCO3)</b>	16,16	1,81	19,00	14,40
<b>Sol.Totales(mg/l)</b>	495,00	9,26	500,00	480,00
<b>Sol.Disueltos(mg/l)</b>	409,67	27,14	440,00	380,00
<b>Sol. Sedimentables(ml/l)</b>	0,33	0,09	0,40	0,20

**Lavadora de Cajas. Salida 2.**

	Promedio	Desv. Stand	Máximo	Mínimo
Vol.descarga(HI./mdía)	124,00	4,40	129,69	113,49
Índice (HI.descar./HI.cerv.ervas)	0,07	0,01	0,09	0,05
Alcal. parcial(ppmCaCO <sub>3</sub> )	0,00	0,00	0,00	0,00
Alcal. total(ppmCaCO <sub>3</sub> )	187,93	9,97	203,00	172,80
Dureza total(ppmCaCO <sub>3</sub> )	46,74	5,81	56,40	40,00
Dureza cálcica(ppmCaCO <sub>3</sub> )	14,93	3,71	19,80	7,60
Sol.Totales(mg/l)	351,43	15,74	380,00	340,00
Sol.Disueltos(mg/l)	312,00	16,97	344,00	300,00
Sol. Sedimentables(ml/l)	0,16	0,05	0,20	0,10

**Pasteurizadora.**

	Promedio	Desv. Stand	Máximo	Mínimo
Vol.descarga(HI./mdía)	217,50	10,52	230,72	203,62
Índice (HI.descar./HI.cerv.ervas.)	0,13	0,02	0,16	0,09
Alcal. parcial(ppmCaCO <sub>3</sub> )	0,05	0,09	0,20	0,00
Alcal. total(ppmCaCO <sub>3</sub> )	136,73	5,81	148,60	129,30
Dureza total(ppmCaCO <sub>3</sub> )	54,95	4,66	60,40	48,80
Dureza cálcica(ppmCaCO <sub>3</sub> )	14,94	0,83	16,00	13,80
Sol.Totales(mg/l)	327,50	21,21	360,00	300,00
Sol.Disueltos(mg/l)	313,71	14,94	340,00	300,00
Sol. Sedimentables(ml/l)	0,14	0,05	0,20	0,10

**Envasadora B1.**

	Promedio	Desv. Stand	Máximo	Mínimo
Vol.descarga(HI./mdía)	84,12	5,82	93,16	76,27
Índice (HI.descar./HI.cerv.ervas.)	0,05	0,01	0,06	0,03
Alcal. parcial(ppmCaCO <sub>3</sub> )	0,00	0,01	0,02	0,00
Alcal. total(ppmCaCO <sub>3</sub> )	179,56	6,73	187,20	164,80
Dureza total(ppmCaCO <sub>3</sub> )	46,13	7,90	55,20	35,60
Dureza cálcica(ppmCaCO <sub>3</sub> )	10,86	2,27	14,80	7,60
Sol.Totales(mg/l)	442,50	22,52	460,00	400,00
Sol.Disueltos(mg/l)	428,57	32,37	480,00	400,00
Sol. Sedimentables(ml/l)	0,00	0,00	0,00	0,00

**Envasadora B2.**

	Promedio	Desv. Stand	Máximo	Mínimo
Vol.descarga(Hl./mdía)	69,90	6,79	79,34	60,28
Indice (Hl.descar./Hl.cerv.envas.)	0,04	0,01	0,06	0,03
Alcal. parcial(ppmCaCO3)	0,00	0,00	0,00	0,00
Alcal. total(ppmCaCO3)	182,14	6,72	189,00	172,20
Dureza total(ppmCaCO3)	46,27	8,75	65,20	38,80
Dureza cálcica(ppmCaCO3)	10,49	2,84	16,80	6,40
Sol.Totales(mg/l)	511,43	42,98	580,00	460,00
Sol.Disueltos(mg/l)	488,89	47,02	540,00	420,00
Sol. Sedimentables(ml/l)	0,00	0,00	0,00	0,00

**Línea 2****Lavadora de Botellas. Salida A.**

	Promedio	Desv. Stand	Máximo	Mínimo
Vol.descarga(Hl./mdía)	156,75	6,29	165,33	148,14
Indice (Hl.descar./Hl.cerv.envas.)	0,39	0,10	0,54	0,26
Alcal. parcial(ppmCaCO3)	320,59	4,50	328,80	315,90
Alcal. total(ppmCaCO3)	642,56	7,10	648,65	631,30
Dureza total(ppmCaCO3)	44,24	0,54	44,80	43,60
Dureza cálcica(ppmCaCO3)	20,60	1,28	22,80	19,60
Sol.Totales(mg/l)	3550,00	65,42	3620,00	3460,00
Sol.Disueltos(mg/l)	3375,00	66,08	3440,00	3300,00
Sol. Sedimentables(ml/l)	1,74	0,09	1,85	1,65

**Lavadora de Botellas. Salida C.**

	Promedio	Desv. Stand	Máximo	Mínimo
Vol.descarga(Hl./mdía)	125,41	7,06	139,56	115,48
Indice (Hl.descar./Hl.cerv.envas.)	0,31	0,09	0,47	0,20
Alcal. parcial(ppmCaCO3)	1892,00	19,16	1917,00	1872,00
Alcal. total(ppmCaCO3)	2377,32	24,92	2406,80	2348,10
Dureza total(ppmCaCO3)	16,60	0,42	17,20	16,00
Dureza cálcica(ppmCaCO3)	11,47	0,88	12,60	10,80
Sol.Totales(mg/l)	2304,00	101,39	2420,00	2200,00
Sol.Disueltos(mg/l)	2100,00	98,99	2220,00	1980,00
Sol. Sedimentables(ml/l)	42,80	5,36	50,00	38,00

**Lavadora de Botellas. Salida D.**

	Promedio	Desv. Stand	Máximo	Mínimo
Vol.descarga(Hl./mdía)	361,51	14,13	377,55	341,60
Indice (Hl.descar./Hl.cerv.envas.)	0,81	0,21	1,01	0,54
Alcal. parcial(ppmCaCO3)	344,41	3,04	348,69	340,60
Alcal. total(ppmCaCO3)	611,48	8,37	625,60	602,50
Dureza total(ppmCaCO3)	23,67	0,47	24,40	23,20
Dureza cálcica(ppmCaCO3)	9,47	0,37	9,80	9,00
Sol.Totales(mg/l)	724,00	16,73	740,00	700,00
Sol.Disueltos(mg/l)	680,00	14,14	700,00	660,00
Sol. Sedimentables(ml/l)	0,11	0,02	0,15	0,10

**Envasadora.**

	Promedio	Desv. Stand	Máximo	Mínimo
Vol.descarga(Hl./mdía)	49,60	3,54	56,36	45,06
Indice (Hl.descar./Hl.cerv.envas.)	0,12	0,03	0,19	0,07
Alcal. parcial(ppmCaCO3)	0,00	0,00	0,00	0,00
Alcal. total(ppmCaCO3)	184,04	4,36	189,30	180,00
Dureza total(ppmCaCO3)	133,27	4,07	138,00	128,00
Dureza cálcica(ppmCaCO3)	36,64	0,36	37,00	36,20
Sol.Totales(mg/l)	1422,50	12,58	1440,00	1410,00
Sol.Disueltos(mg/l)	1377,50	12,58	1390,00	1360,00
Sol. Sedimentables(ml/l)	0,00	0,00	0,00	0,00

**Pasteurizadora. Salida 1.**

	Promedio	Desv. Stand	Máximo	Mínimo
Vol.descarga(Hl./mdía)	40,08	4,05	44,59	33,57
Indice (Hl.descar./Hl.cerv.envas.)	0,09	0,03	0,12	0,04
Alcal. parcial(ppmCaCO3)	117,87	1,53	119,60	115,40
Alcal. total(ppmCaCO3)	410,33	4,76	417,70	405,20
Dureza total(ppmCaCO3)	30,33	1,57	32,40	28,40
Dureza cálcica(ppmCaCO3)	11,27	0,62	12,00	10,60
Sol.Totales(mg/l)	484,00	5,48	490,00	480,00
Sol.Disueltos(mg/l)	412,80	4,60	420,00	408,00
Sol. Sedimentables(ml/l)	0,00	0,00	0,00	0,00

**Pasteurizadora. Salida 2.**

	<b>Promedio</b>	<b>Desv. Stand</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
<b>Vol.descarga(Hl./mdía)</b>	45,58	4,88	52,11	36,09
<b>Indice (Hl.descar./Hl.cerv.envas.)</b>	0,10	0,03	0,15	0,05
<b>Alcal. parcial(ppmCaCO3)</b>	181,53	2,30	184,91	178,50
<b>Alcal. total(ppmCaCO3)</b>	481,59	3,66	488,00	477,30
<b>Dureza total(ppmCaCO3)</b>	13,67	0,99	14,80	12,00
<b>Dureza cálcica(ppmCaCO3)</b>	8,13	0,16	8,40	8,00
<b>Sol.Totales(mg/l)</b>	648,00	10,95	660,00	640,00
<b>Sol.Disueltos(mg/l)</b>	616,40	4,98	620,00	610,00
<b>Sol. Sedimentables(ml/l)</b>	0,00	0,00	0,01	0,00

**Pasteurizadora. Salida 3.**

	<b>Promedio</b>	<b>Desv. Stand</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
<b>Vol.descarga(Hl./mdía)</b>	64,05	5,21	71,49	58,79
<b>Indice (Hl.descar./Hl.cerv.envas.)</b>	0,15	0,03	0,19	0,10
<b>Alcal. parcial(ppmCaCO3)</b>	154,58	3,96	160,40	149,90
<b>Alcal. total(ppmCaCO3)</b>	430,89	8,87	441,00	417,60
<b>Dureza total(ppmCaCO3)</b>	28,00	1,13	29,20	26,00
<b>Dureza cálcica(ppmCaCO3)</b>	11,67	0,87	13,40	11,00
<b>Sol.Totales(mg/l)</b>	628,00	10,95	640,00	620,00
<b>Sol.Disueltos(mg/l)</b>	569,60	9,63	580,00	560,00
<b>Sol. Sedimentables(ml/l)</b>	0,00	0,00	0,01	0,00

**Pasteurizadora. Salida 4.**

	<b>Promedio</b>	<b>Desv. Stand</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
<b>Vol.descarga(Hl./mdía)</b>	137,54	5,85	147,14	128,75
<b>Indice (Hl.descar./Hl.cerv.envas.)</b>	0,30	0,08	0,42	0,22
<b>Alcal. parcial(ppmCaCO3)</b>	181,30	1,25	182,80	179,90
<b>Alcal. total(ppmCaCO3)</b>	440,55	2,10	442,70	436,50
<b>Dureza total(ppmCaCO3)</b>	41,07	0,86	42,40	40,00
<b>Dureza cálcica(ppmCaCO3)</b>	16,33	0,76	17,40	15,40
<b>Sol.Totales(mg/l)</b>	646,67	10,33	660,00	640,00
<b>Sol.Disueltos(mg/l)</b>	600,00	14,14	620,00	590,00
<b>Sol. Sedimentables(ml/l)</b>	0,00	0,01	0,02	0,00

## ANEXO 10 Cálculo del Condensado Recuperado.

### Condensado que se recupera:

#### Mes de Septiembre

Consumo de agua de reposición – calderos = 12840 HI.

Consumo de agua de alimentación – calderos = 51130 HI.

% retorno de condensado = 75%

Consumo de vapor	Flujo máx. (Kg./h)	Total (Kg.)	% Consumo Total
Línea 3	7014	1122590	35
Línea 2	4267	450310	14

Reposición + Condensado = Alimentación

Condensado = 38290 HI.

$$\% \text{ retorno condensado} = \frac{\text{condensado}}{\text{alimentación}} * 100$$

$$\% \text{ retorno condensado} = 74.89\%$$

#### Línea 3

Consumo de vapor	Condensado
100% (planta)	75% (planta)
35% (Línea 3)	26.25% (Línea 3)

Cantidad de condensado que se recupera = 26.25% \* 38290 HI.

Cantidad de condensado que se recupera = 10051,13HI.

#### Línea 2

Consumo de vapor	Condensado
100% (planta)	75% (planta)
14% (Línea 2)	10.50% (Línea 2)

Cantidad de condensado que se recupera = 10.50% \* 38290 HI.

Cantidad de condensado que se recupera = 4020,45HI.

**Nota:**

Esto se hace igual para los meses de Agosto y Octubre del 2002, luego se saca promedio y esos valores se colocan en el balance de vapor.

El condensado que se recupera en la Línea 3 es 10285.74 HI. /mes

El condensado que se recupera en la Línea 2 es 4094.25 HI. /mes

**Cálculo del Porcentaje Global de Pérdida de Condensado que ocurre en las 2 Líneas de Producción (Línea 3 y Línea 2).**

**Consumo de vapor:**

Línea 3 = 1110305.67 Kg. /mes

Línea 2 = 444810 Kg. /mes

Total de vapor consumido (L-3 y L-2) = 1555115.67 Kg. /mes

**Condensado que se pierde:**

Línea 3 = 81731.67 Kg. /mes

Línea 2 = 35385.33 Kg. /mes

Total de condensado que se pierde (L-3 y L-2) = 117117 Kg. /mes

**Porcentaje Global de Pérdida de Condensado**

$$\% \text{ global de pérdida de condensado} = \frac{\text{Total de condensado que se pierde}}{\text{Total de vapor consumido}} * 100$$

Porcentaje global de pérdida de condensado = 7.53 %

## ANEXO 11 Análisis Económico del Proyecto de Recuperación y Reutilización para Ahorro de Agua.

Para este análisis se toma en cuenta el beneficio económico del agua ablandada, agua general y agua residual tratada ahorrada.

Se toma en cuenta las siguientes tasas de interés:

### Tasas de Interés

Tasa de Impuesto a la Renta	20%
Tasa Pasiva	4.79%
Tasa Activa	11.39%
LIBOR	4.00%
Tasa de Descuento	7.00%

Datos obtenidos por La información Estadística de la Dirección General de Estudios del Banco Central del Ecuador, en el mes de Enero del 2004.

### Depreciación:

Tasa de Depreciación = 20%

Inversión inicial = 10428,20USD.

Depreciación = Inversión inicial \* tasa de depreciación

Depreciación = 2085,64USD.

### Tasa de Descuento:

Tasa de descuento = LIBOR + 3%<sub>MAX</sub>.

Tasa de descuento = 7.00%.

### Valor Actual Neto (VAN):

Para este cálculo se utiliza la tasa de descuento debido a que hay que tomar en cuenta la inflación. Para diseñar proyectos siempre se debe tomar en cuenta la inflación.

El valor actual neto se calcula tomando en cuenta los flujos efectivos desde el año en que se empieza el proyecto.

$$VAN = - Inversión + \sum_{k=1}^n \frac{(Flujo\ de\ Efectivos + Interés)_k}{(1 + tasa\ de\ descuento)^k}$$

### Tasa Interna de Retorno (TIR):

El TIR es la tasa de descuento que iguala a cero el valor actual neto.

$$\sum_{t=0}^n \frac{(\text{Flujo de Efectivos} + \text{Interés})_t}{(1 + \text{TIR})^t} = 0$$

### Flujo de Efectivo:

Flujo de Efectivo = Ingreso operativo + Impuesto a la renta

### Flujo de Caja Neto

Línea	Fin de	2003	2004	2005	2006	2007	2008
	Año de Operación	-1	0	1	2	3	4
	Año de Descuento	0	1	2	3	4	5
1	Inversión Inicial	-9432,36					
2	Mano de obra adicional	-3400,00					
3	Capital Total	-12832,36					
4	Ingreso por Recuperación		11645,14	11645,14	11645,14	11645,14	11645,14
5	Costo variable adicional		-846,10	-846,10	-846,10	-846,10	-846,10
6	Capital Descontado	-12832,36					
7	Ingreso Operativo		10799,04	10799,04	10799,04	10799,04	10799,04
8	Depreciación:		-1886,47	-1886,47	-1886,47	-1886,47	-1886,47
9	Ingreso antes de Impuestos:		8912,57	8912,57	8912,57	8912,57	8912,57
10	Impuesto a la Renta:		-1782,51	-1782,51	-1782,51	-1782,51	-1782,51
11	Ingreso Neto:		7130,05	7130,05	7130,05	7130,05	7130,05
12	Flujo de Efectivo:	-12832,36	9016,52	9016,52	9016,52	9016,52	9016,52
13	Flujos Descontados:	-12832,36	8426,66	7875,38	7360,17	6878,66	6428,66

### Resultados del Análisis Económico del Proyecto

PARÁMETROS PARA ESTIMAR LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO		
VALOR ACTUAL NETO ( VAN )	24137,17	USD
TASA NETA DE RETORNO (% /año)	31,35	%
CAPITAL TOTAL DESCONTADO	12832,36	USD
TASA INTERNA DE RETORNO ( TIR )	64,42	%
TIEMPO DE PAGO DE LA INVERSIÓN	1,53	años
FRACCIÓN DE PAGO NETO	0,15	
TIEMPO DE VIDA	5,00	años
TIEMPO DE OPERACIÓN	4,00	años

## **ANEXO 12 Procedimiento del Proceso de Operación de los Sistemas de Recuperación y Reutilización para las 2 Líneas de Producción del Proceso de Embotellado(Línea 3 y Línea 2)**

### **Procedimiento del Proceso de Operación del Sistema de Recuperación y Reutilización para la Línea 3 del Proceso de Embotellado**

- ❖ Al comenzar la jornada diaria de trabajo (7h00), se abre completamente la válvula de ingreso de agua ablandada a todas las máquinas donde se necesita de esta agua en la Línea 3, y también se abre la válvula de agua general para tener un flujo de 3.57 l/s.
- ❖ Al pasar una hora con 4 minutos (1h 4min.), se cierra parcialmente la válvula de ingreso de agua ablandada para lograr un flujo de esta agua de 3.15 l/s. Este flujo de agua ablandada se obtiene mediante calibración de la válvula de ingreso, por parte de los señores de mantenimiento, mediante señalización en esa válvula (para este flujo de 3.15 l/s, se llena un recipiente de 10 litros en 3 segundos) y se enciende el circuito de reutilización del agua en el tanque de recuperación.
- ❖ Al terminar la jornada del primer día (23h00), se cierra las válvulas de agua general y ablandada; se apaga el circuito de reutilización de agua en el tanque de recuperación.
- ❖ Al segundo y tercer día, en el comienzo de jornada, se abre la válvula de ingreso de agua general y la válvula de ingreso de agua ablandada, pero solo hasta el flujo que corresponde a la cantidad de esta agua que sigue ingresando a la Línea 3 o hasta donde se deja calibrado la válvula y se conecta el circuito de recirculación de agua en el tanque de recuperación.
- ❖ Al terminar la jornada del segundo y tercer día, se cierra las válvulas de ingreso de agua general y ablandada; se apaga el circuito de reutilización de agua en el tanque de recuperación.
- ❖ Cuando se finaliza la jornada (23h00) de esta línea de producción, se cierra las válvulas de agua general y ablandada; se apaga el circuito de reutilización de agua en la cisterna de recuperación y se procede a evacuar el agua que queda en el tanque que son 1500litros aproximadamente y el agua que está en el tanque de almacenamiento de la lavadora de cajas cuya cantidad es 4800 litros (4.8 m<sup>3</sup>) y los tanques de almacenamiento de

la pasteurizadora, cuya cantidad total de agua almacenada es 33600 litros ( $33.6 \text{ m}^3$ ).

### **Procedimiento del Proceso de Operación del Sistema de Recuperación y Reutilización para la Línea 2 del Proceso de Embotellado**

- Al comenzar la jornada diaria de trabajo (7h00) en la Línea 2, se abre completamente la válvula de ingreso de agua general a todas las máquinas donde se necesita de esta agua y se abre la válvula de agua ablandada para tener un flujo de 1.62 l/s.
- Al pasar una hora con 40 minutos (1h 40min.), se cierra parcialmente la válvula de ingreso de agua general hasta lograr un flujo de esta agua que es la cantidad que sigue ingresando a la Línea 2. Este flujo de agua general se obtiene mediante calibración de la válvula de ingreso, por parte de los señores de mantenimiento, mediante señalización en esa válvula (para el flujo de 1.62 l/s, se llena un recipiente de 5 litros en 3 segundos) y se enciende el circuito de reutilización del agua en el tanque de recuperación.
- Al terminar la jornada del primer día (23h00), se cierra las válvulas de agua general y ablandada; se apaga el circuito de reutilización de agua en la cisterna de recuperación.
- Al segundo día, en el comienzo de jornada, se abre la válvula de ingreso de agua ablandada y la válvula de ingreso de agua general, pero solo hasta el flujo que es la cantidad de esta agua que sigue ingresando a la Línea 2 o hasta donde se deja calibrado la válvula y se conecta el circuito de recirculación de agua en la cisterna de recuperación. (Se abre la válvula de la salida de la cisterna y la válvula de entrada en la pasteurizadora).
- Al terminar la jornada del segundo día, se cierra las válvulas de agua general y ablandada; se apaga el circuito de reutilización de agua en la cisterna de recuperación y se procede a evacuar el agua que queda en la cisterna que son 3140 litros aproximadamente y el agua que está en los tanques de almacenamiento de la lavadora de cajas cuya cantidad es 334 litros ( $0.344 \text{ m}^3$ ) y los tanques de almacenamiento de la pasteurizadora, cuya cantidad total de agua almacenada es 29400 litros ( $29.4 \text{ m}^3$ ).

### **FE DE ERRATAS.**

P.143 . Agua de reposición total por pérdida evaporativas en la L-3 = 0,288 l/s.  
en lugar de 0.07203 l/s.

p.143. Agua recirculada = 2.01 l/s (se considera que el agua perdida en el torre de enfriamiento es despreciable).

p.143.  $Y = \dots$  En la formula se toma en cuenta “el agua de reposición total por perdidas evaporativas L-3” por concepto de factor de seguridad para el análisis económico.