

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL  
QUÍMICO

**PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL USO DEL  
AGUA INDUSTRIAL EN PLANTA CACHANTUN, VI  
REGIÓN**

**Melany Echeverría Contreras**

Profesor Guía:  
Carlos Carlesi Jara

**2015**

# AGRADECIMIENTOS

A Dios, por cada persona que colocó en mi camino, cada palabra, conversación y compañía formaron parte de este proceso.

A mis padres, Astrid y Rody, por todo el esfuerzo, apoyo y fe incondicional que me otorgan siempre, por los valores y consejos que me forjan como persona, los admiro y agradezco cada día.

A mis hermanos Fabián y Rocío, a mis abuelos y toda mi familia por cada granito de arena, cada palabra de aliento y cada abrazo.

A mis amigas y amigos, los de la vida y los que conocí en este proceso, gracias por la paciencia, el cariño y por sobre todo por las risas, que hicieron de este un proceso uno para contarle a mis nietos.

## Resumen Ejecutivo

La siguiente tesis presenta la factibilidad técnica y rentabilidad económica para llevar a cabo un proyecto de optimización del uso del agua industrial producida por Planta Cachantun en sus operaciones, en donde a su vez, se busca disminuir el indicador hídrico llevado por la planta, el cual expresa la cantidad de agua consumida (extraída desde las dos vertientes), sobre la cantidad de agua producida, obteniendo inicialmente un indicador de 2.0 en el año 2014, y en donde con esta propuesta de optimización del uso de agua industrial, se establece que puede disminuir en un 27%, alcanzando un indicador de 1.73, el cual comparado con indicadores hídricos alcanzados por embotelladoras de agua mineral similares a la Planta Cachantun en Latinoamérica, se debe continuar trabajando para disminuirlo, con prácticas del buen uso del agua, ya que entre las embotelladoras estudiadas se obtiene un promedio de 1.6 como indicador.

La propuesta se enfoca en la reutilización del agua descartada desde el equipo *rinser* de la línea de producción n° 4, por los lavados de botellas PET en la manufactura, la cual no presenta una mayor degradación en la calidad de ésta, solo la alta dureza mostrada por su naturaleza.

Para lograr este objetivo, en una primera instancia, se realiza un estudio exhaustivo para conocer la distribución, forma y cantidades de agua que se utilizan en la planta bajo condiciones normales de operación. Luego se analiza el tipo de agua industrial que se busca reutilizar, para conocer su calidad y luego ser enviada a procesos que no posean un contacto directo con el producto, como la lubricación de cintas transportadoras, riego de jardines, en torre enfriadora a la línea de producción n° 4, en la caldera, y en los dos estanques de enjuague inicial de la lavadora de botellas de vidrio (línea de producción n° 3).

En base a lo antes señalado, inicialmente se busca enviar agua blanda a los procesos de enjuague de botellas PET, luego recuperarla en un estanque de balance y llevarla hasta un estanque pulmón (TK 15) el cual distribuirá el agua industrial recuperada hacia los puntos con posibilidades de reutilización, los cuales son presentados y estudiados en el presente informe.

Se establece que en el año 2014 (periodo de tiempo en donde se lleva a cabo la investigación), con este proyecto se podrían haber recuperado y reutilizado un volumen de 30.161 [m<sup>3</sup>] de agua industrial, lo que se traduce en \$554.496.- (pesos chilenos) aproximadamente, por concepto de ahorro energético en bombeo de agua extraída desde la vertiente 1.

En general, se determina que el proyecto no es económicamente rentable, a los 10 años estudiados, considerando un capital de inversión de \$18.197.950.- (pesos chilenos), pero se considera aun más importante de tomar en cuenta, los beneficios medioambientales que se adquieren con la aplicación de este proyecto, tomando en cuenta la situación actual y futura que presenta el recurso hídrico en el mundo, es trascendental crear soluciones afables con un bien tan vital como es el agua, creando situaciones de manejo sustentable del recurso.

## Índice

<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo I: Presentación Aguas CCU – Nestlé Chile S.A. ....</b>	<b>3</b>
1.1 Antecedentes Generales .....	4
1.1.1 Historia.....	4
1.1.2 Ubicación .....	5
1.1.3 Productos Comerciales Aguas CCU – Nestlé Chile S.A.....	6
1.2 Descripción del Proceso Productivo .....	7
1.3 Definición del Problema a Investigar.....	11
1.4 Antecedentes de la situación Problema.....	12
1.5 Razones personales para realizar este proyecto .....	14
1.6 Justificación del estudio para la EIQ.....	14
1.7 Objetivo General y Objetivos Específicos .....	15
1.8 Metodología .....	15
1.9 Delimitación de la investigación.....	16
<b>Capítulo II: ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN, CONSUMO Y UTILIZACIÓN DEL AGUA EN LA EMPRESA .....</b>	<b>17</b>
2.1 Distribución de consumo y Requerimiento del recurso hídrico en la planta.....	18
2.1.1 Diagrama de Flujo al Agua en la Planta.....	18
2.1.2 Descripción de los procesos involucrados.....	21
2.2 Requerimiento del Recurso Hídrico en los Procesos. ....	27
2.2.1 Volumen de agua extraída y producida en 2014 .....	27
2.2.2 Cálculo consumo de Agua en etapas con registros .....	28
2.2.3 Estimaciones de consumo hídrico en operaciones unitarias.....	30
<b>Capítulo III: ANÁLISIS DE PUNTOS CON FACTIBILIDAD DE REUTILIZACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO. ....</b>	<b>48</b>
3.1 Selección y especificación de procesos con factibilidad de utilizar agua industrial .....	48
3.1.1 Proceso con mayor consumo de agua desde Vertiente 1.....	48
3.1.2 Análisis al proceso seleccionado.....	51
3.2 Estudio al agua problema .....	53
<b>CAPÍTULO IV: FACTIBILIDAD TÉCNICA A LA PROPUESTA DE PROYECTO DE REUTILIZACIÓN DE AGUA INDUSTRIAL RECUPERADA DESDE LAVADO DE BOTELLAS PET LÍNEA N° 4 .....</b>	<b>56</b>
<b>4.1 Procesos propuestos para reutilización del agua recolectada .....</b>	<b>56</b>

<b>Se basa en los procesos que no presenten un contacto directo con el producto en su operación. De esta manera, se estudian las siguientes operaciones:</b>	<b>56</b>
<b>4.2 Proceso propuesto para recircular el agua industrial</b>	<b>58</b>
4.2.1 Determinación y Distribución de equipos y redes	59
4.2.2 Dimensionamiento de bombas y cañerías	62
4.2.2.1 Dimensionamiento en la recolección del Agua Industrial	63
4.2.2.2 Distribución de agua industrial recuperada	70
<b>CAPÍTULO V: COSIDERACIONES ECONÓMICAS</b>	<b>71</b>
5.1 Beneficios del Proyecto	72
5.2 Capital de Inversión	73
5.2.1 Costo e Instalación de los Equipos	73
5.2.2 Costo total de Inversión	76
5.3 Análisis de Rentabilidad	77
<b>CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES</b>	<b>78</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>80</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>82</b>
ANEXO A	83
A-1 Distribución del agua en la tierra	83
A-2 Distribución del consumo de aguas dulces	85
ANEXO B	89
B-1 Procedimiento Saneado CIP	89
B-2 Trabajo y Operación Línea de Producción N° 3.	93
ANEXO C	95
C-1 Estimación Costo Total de Inversión	95
ANEXO D	98

## Índice de Figuras

Figura 1. Ejemplos de Marcas comercializadas en aguas CCU – Nestlé Chile S.A. ....	4
Figura 2. Ubicación geográfica localidad Planta Cachantun.....	5
Figura 3. Diagrama de Flujo General al Proceso Productivo en Planta Cachantun. ....	7
Figura 4. Descripción General del Proceso Productivo en Aguas CCU - Nestlé.....	8
Figura 5. Indicador Hídrico mensual en Planta Cachantun durante el 2014. ....	12
Figura 6. Brenchmark Indicador Hídrico en Embotelladoras de Agua Mineral en Sudamérica. ....	13
Figura 7. Diagrama de Flujo al Agua Producto en Planta Cachantun. ....	18
Figura 8. Diagrama de Flujo al Agua de uso en Servicios en Planta Cachantun. ....	19
Figura 9. Circuito de preparación de un Saneado <i>CIP</i> . ....	21
Figura 10. Estanque Pulmón <i>Rinser</i> en Planta Cachantun. ....	22
Figura 11. Diagrama de Flujo General de manufactura en Línea N°3. ....	23
Figura 12. Trampa de vapor del manifold de distribución general de vapor.....	24
Figura 13. Planta de Tratamiento de Riles en Planta Cachantun. ....	25
Figura 14. Comportamiento estacional de la Extracción y Producción de Aguas en 2014.....	27
Figura 15. Aspersores de lubricación de Cintas Transportadoras. ....	30
Figura 16. Medición del caudal de los aspersores en la Línea de Producción de Bidones. ....	32
Figura 17. Circuito de Operación Torre Enfriadora Línea N° 4. ....	43
Figura 18. Diagrama de Flujo al Agua desde Vertiente 1. ....	45
Figura 199. Diagrama de Flujo al uso de Agua Blanda en Planta Cachantun.....	46
Figura 20. Distribución porcentual al consumo de agua industrial desde Vertiente 1 en 2014. ....	49
Figura 21. Diagrama de Pareto al Consumo de Agua Industrial durante el año 2014. ....	50
Figura 22. Diagrama de Pareto al Consumo de Agua Blanda en Planta Cachantun en 2014. ....	50
Figura 23. Distribución al consumo de Agua Blanda en Planta Cachantun durante el año 2014. ....	51
Figura 24. Diagrama de Pareto al Consumo de Agua desde Estanque Pulmón <i>Rinser</i> en 2014.....	53
Figura 25. Esquema ilustrativo de distribución del agua industrial a reutilizar en Planta Cachantun. .....	57
Figura 26. Diseño de Propuesta de Proyecto en la Reutilización de Agua Industrial. ....	59
Figura 27. Propuesta de Proyecto de Reutilización de Agua industrial a Línea n° 4.....	60
Figura 28. Lay-out General Actual Planta Cachantun. ....	60
Figura 29. Diagrama de Distribución en Planta Cachantun, con dimensiones del proyecto.....	61
Figura 30. Proyecto de reutilización de agua residual.....	68
Figura 31. Dibujo isométrico general proyecto captación agua residual ..... 69	69
Figura 32. Vista Superior Dibujo isométrico general proyecto captación agua residual ..... 69	69
Figura 33. Vista Frontal Dibujo isométrico general proyecto captación agua residual ..... 70	70
Figura 34. Distribución del agua en el Planeta.....	83
Figura 35. Ciclo Hidrológico del agua. ....	84
Figura 36. Número de empresas con un sistema certificado de Gestión Ambiental <sup>1</sup> .....	86
Figura 37. Extracción y consumo de agua en 3 sectores principales del mundo en 1995.....	87
Figura 38. Infraestructura de riego en el mundo en 1998. ....	87
Figura 39. Sistema de Preparación de un Saneado <i>CIP</i> en Planta Cachantun.....	89
Figura 40. Esquema General de redes y Producción de un Saneado <i>CIP</i> . ....	90
Figura 41. Secuencia de Etapas del Saneado de 7 pasos.....	91

Figura 42. Diagrama de Flujo General en Línea de Producción n° 3.....	93
Figura 43. Cotización Proyecto similar, por ECCUSA en 2009 .....	95
Figura 44. Cotización Proyecto similar, por ECCUSA en 2009 (Continuación).....	96
Figura 45. Gráfico de Moody para la obtención del factor de fricción .....	98
Figura 46. Gráfico Rugosidad Relativa para las tuberías de materiales utilizados en ingeniería.....	98
Figura 47. Largos Equivalentes para válvulas y fittings .....	99

## Índice de Tablas

Tabla 1. Variedades de Productos Comercializados por Planta Cachantun .....	6
Tabla 2. Cantidad Total Anual de Aguas Comercializadas el año 2014.....	6
Tabla 3. Datos del Agua Total Consumida y Comercializada en Planta Cachantun.....	12
Tabla 4. Índices de Agua Consumida/Agua Producida en Sudamérica en 2012. ....	13
Tabla 5. Producción y Extracción Total de Agua en 2014.....	27
Tabla 6. Síntesis de consumo de agua por las Torres de Ablandamiento de Aguas en 2014.....	28
Tabla 7. Síntesis de consumo de agua por Saneado de equipos y redes en 2014.....	29
Tabla 8. Síntesis de consumo de agua en Caldera durante el año 2014. ....	29
Tabla 9. Datos obtenidos para la Lubricación de Cintas Transportadoras.....	31
Tabla 10. Jornadas de Funcionamiento de las Líneas de Producción registradas en 2014. ....	32
Tabla 11. Consumo de Agua por Lubricación de Cintas Transportadora en 2014. ....	38
Tabla 12. Levantamiento de información sobre el lavado de pisos y aseo en Planta Cachantun.....	39
Tabla 13. Consumo Total de Agua mensual por concepto de Aseo y Lavado de Pisos.....	42
Tabla 14. Consumo de Agua estimado para Torre de Enfriamiento durante el año 2014.....	44
Tabla 15. Datos de consumo de Agua desde la Vertiente 1 .....	44
Tabla 16. Porcentaje de Distribución de agua hacia Estanque Pulmón <i>Rinser</i> y Servicios. ....	45
Tabla 17. Estimación de Consumo de Agua [HI] al Estanque Pulmón <i>Rinser</i> y Servicios según distribución porcentual durante el año 2014. ....	45
Tabla 18. Estimación de Consumo de Agua en Lavadora Línea 3 durante el año 2014 en [hl]. ....	47
Tabla 19. Resumen consumo de Agua en Operaciones Unitarias durante el año 2014. ....	48
Tabla 20. Información teórica, según fabricante, de Equipos <i>Rinser</i> en líneas de producción.....	51
Tabla 21. Consumo de Agua por Lavado de Botellas PET en Línea de Producción 1 en 2014. ....	51
Tabla 22. Consumo de Agua por Lavado de Botellas PET en Línea de Producción 2 en 2014. ....	52
Tabla 23. Consumo de Agua por Lavado de Botellas PET en Línea de Producción 4 en 2014. ....	52
Tabla 24. Consumo Teórico de Agua de Enjuague de Botellas PET por línea, en 2014. ....	53
Tabla 25. Análisis a muestras de agua natural y a agua industrial a reutilizar.....	54
Tabla 26. Resumen consumo de Agua en procesos con posibilidad de utilizar agua recuperada.....	57
Tabla 27. Resumen de posible disminución del consumo hídrico para el año 2014.....	58
Tabla 28. Valores número de Reynolds en flujo de líquidos. ....	64
Tabla 29. Resumen valores obtenidos para los parámetros a analizar en el dimensionamiento de bombas y cañerías. ....	66
Tabla 30. Continuación Resumen valores obtenidos para los parámetros a analizar en el dimensionamiento de bombas y cañerías. ....	67
Tabla 31. Resumen de consumo energético desde la Vertiente 1 en 2014.....	72

Tabla 32. Equipos, Accesorios y Fittings necesarios para el Proyecto Propuesto .....	73
Tabla 33. Costo Total de Equipos. ....	75
Tabla 34. Costo Instalación Equipos Principales en las tres Líneas de Producción.....	75
Tabla 35. Costo Total de Inversión en Proyecto Propuesto. ....	76
Tabla 36. Especificación de la Temperatura de Trabajo en estanques de la Lavadora para la producción de botellas retornables. ....	94
Tabla 37. Indicadores Indexados.....	96
Tabla 38. Índice de Escalamiento por Capacidad. ....	96



## Introducción

El agua, es el recurso más importante para la humanidad, esencial para todas las actividades sociales, económicas y ambientales, es la fuente de toda vida en la tierra, regula el clima y la temperatura del planeta, es de fácil y rápido acceso, y se piensa que es ilimitado, lo cual no es así, y por falta de preocupación sobre este recurso por parte de las personas, actualmente se ha convertido en un recurso escaso, amenazado y en peligro de desaparecer, ya que si bien, es un recurso potencialmente renovable debido al ciclo hídrico que ocurre en la naturaleza (ANEXO A, página 1), la contaminación ambiental produce problemas en este proceso; el humo y los gases formados por las fábricas, industrias y automóviles se mezclan con el agua de la atmósfera convirtiendo la lluvia en lluvia ácida, y además, debido al uso de fertilizantes, muchos de los depósitos subterráneos; lagos y arroyos, que abastecen a poblaciones, animales acuáticos y plantas, se encuentran contaminados y cuesta demasiado trabajo y dinero remover sus impurezas.

Se sabe que, el 97,5% de agua en la tierra se encuentra en los océanos y mares de agua salada, y únicamente el 2,5% restante es agua dulce. De este 2,5% de agua dulce, el 68,7% se encuentra en los polos y en las cumbres de las montañas más altas, las cuales se encuentran en estado sólido, un 30,1% se encuentra en aguas subterráneas y acuíferos profundos, y un 0,8% se encuentra como *permafrost* (capa en el subsuelo de la corteza permanentemente congelada), por lo tanto solo un 0,4% del agua dulce del mundo, circula por las cuencas hidrográficas en forma de arroyos y ríos, los cuales se depositan en lagos, lagunas y en otros cuerpos superficiales de agua. [1]

Por consiguiente, solo el 0,0001% del total de agua del planeta, corresponde a agua dulce en forma de ríos, arroyos, lagos, entre otros cuerpos superficiales, los cuales son el agua que realmente se encuentra disponible para todos los usos humanos directos.

Cabe destacar, que la población mundial está creciendo a alrededor de 80 millones de personas al año [2], lo que implica una mayor demanda de agua dulce; de unos 64 mil millones de metros cúbicos anualmente.

A nivel mundial, la agricultura es por lejos el mayor consumidor de agua dulce, representa el 70% de las extracciones de agua dulce de los ríos, lagos y acuíferos, incluso hasta más del 90% en algunos países en desarrollo (ANEXO B, página 1). Lo sigue el uso doméstico, urbano, con un rango de consumo del 10-20%, la industria con un 5-10% y la energía de refrigeración con 1-2% [3].

Es difícil imaginar cualquier tipo de industria en la que no se utilice agua, ya que ésta se utiliza para limpieza, calefacción y refrigeración, para generar vapor, para el transporte de sustancias o partículas disueltas, como materia prima, como disolvente y como parte constitutiva de los productos (como es el caso de la industria de las bebidas).

Para el caso de las embotelladoras, el agua es, sin duda, el principal insumo para la elaboración de sus productos, por lo tanto, el cuidar continuamente de su uso y tratarla de manera adecuada es de suma importancia.

En Planta Cachantun, se lleva un registro diario acerca del Indicador Hídrico que posee, el cual se basa en la cantidad de agua que se extrae desde sus vertientes de agua mineral natural [hl consumidos] sobre la cantidad de producto elaborado [hl producidos] en un mismo periodo de tiempo, y el cual refleja la forma en que se está aprovechando el recurso hídrico.

Esta situación sobre el futuro que se prevé para el agua, nos obliga como futuros profesionales, a pensar en nuevas alternativas que nos permitan generar una solución al problema, es por esto, que en esta investigación, se buscan alternativas de reducción de consumo y/o reutilización del agua, según la factibilidad y según las condiciones y parámetros permisibles en la planta, para así, crear un proceso industrial sustentable y rentable en el tiempo.

**Capítulo I: Presentación Aguas CCU – Nestlé  
Chile S.A.**

## 1.1 Antecedentes Generales

### 1.1.1 Historia

La Compañía de Cervecerías Unidas, CCU, es una empresa de multi-categoría con foco en cervezas y bebidas sin alcohol, y con negocios sinérgicos de vinos, licores y snacks dulces. Sus operaciones productivas se encuentran en Chile, Argentina, Uruguay, Paraguay y Bolivia.

El segmento de operación en Chile, incluye la comercialización de Cervezas, Bebidas sin alcohol y Licores, en donde se encuentran las filiales; Cervecera CCU Chile Ltda, Embotelladoras Chilenas Unidas SA, Compañía Pisquera de Chile SA, Cía. Cervecera Kunstmann SA, y Agua CCU-Nestlé Chile SA.

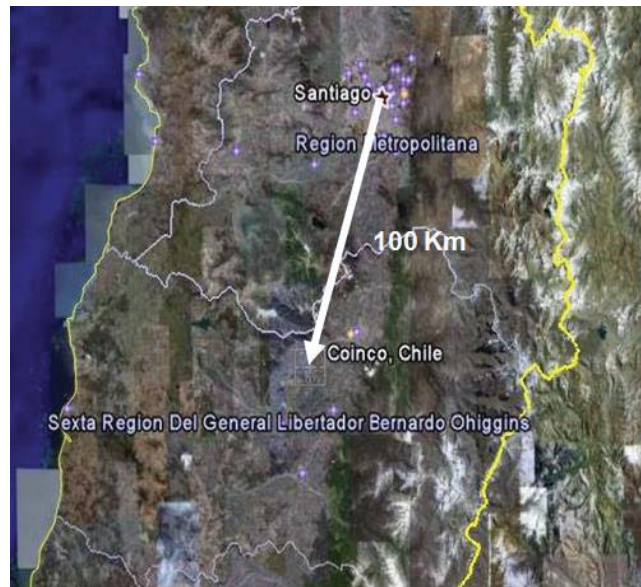
La empresa Aguas CCU-Nestlé Chile S.A. es una sociedad que integran CCU, a través de embotelladoras CCU y Nestlé *waters*, filial de aguas embotelladores Nestlé. Nace en el año 2007 con el objeto de desarrollar el negocio de las aguas embasadas en Chile. Su oferta está compuesta por aguas minerales, purificadas y saborizadas, compuestas por las marcas Cachantún, Mas de Cachantún, *Mas Woman* de Cachantun, Nestlé *Pure Life*, *Porvenir* y *Perrier*, mostradas en la figura n°1.



**Figura 1. Ejemplos de Marcas comercializadas en aguas CCU – Nestlé Chile S.A.**

### 1.1.2 Ubicación

Aguas CCU – Nestlé Chile S.A. tiene operación en tres plantas productivas; el agua mineral Porvenir es extraída y envasada en la Planta de Casablanca, V Región, Perrier es importada directamente desde Francia, y la producción del Agua Mineral Cachantun, Mas de Cachantun y *Mas Woman* se encuentran ubicadas en la Planta Cachantún, localizada en la comuna de Coinco, VI Región del Libertador Bernardo O’Higgins, a 111 km hacia el suroeste de Santiago, ilustrado en la figura n° 2.



**Figura 2. Ubicación geográfica localidad Planta Cachantun.**

### 1.1.3 Productos Comerciales Aguas CCU – Nestlé Chile S.A.

La empresa comercializa alrededor de 12 variedades de productos, independientemente de su formato, las cuales se especifican en la siguiente tabla.

**Tabla 1. Variedades de Productos Comercializados por Planta Cachantun.**

<b>Variedades de Productos</b>	
<b>Agua Mineral</b>	Agua Mineral Con Gas
	Agua Mineral Sin Gas
	Agua Mineral Light Gas
	Bidones
<b>Aguas Mas Gasificadas</b>	Mas Citrus
	Mas Naranja
	Mas <i>Woman</i> Frutos del bosque
	Mas <i>Woman</i> Frutos Silvestres
<b>Aguas Mas sin Gas</b>	Mas Pera
	Mas Granada
	Mas Manzana
	Mas Uva

Se presenta además, en la tabla n°2, la cantidad total de producto que se distribuyó en el año 2014, expresada en hectolitros totales.

**Tabla 2. Cantidad Total Anual de Aguas Comercializadas el año 2014.**

<b>Producción Total</b>	<b>Cantidad [Hl/año]</b>
	1.915.512

Esta cantidad de Hectolitros producidos en el año 2014, incluye todas las variedades de productos elaborados por la Planta existentes para entonces. Además, cabe destacar, que existe una temporada alta, que abarca los meses desde Octubre a Marzo y una temporada baja, acompañada de un clima más frío, durante los meses desde Abril a Septiembre, aproximadamente.

## 1.2 Descripción del Proceso Productivo

La Planta Cachantun, desde sus inicios hasta la actualidad, ha utilizado el agua proveniente de vertientes de agua mineral natural para elaborar sus productos y realizar sus procesos productivos. Estas vertientes son dos, las cuales se denominan Vertiente 1 y Vertiente 2.

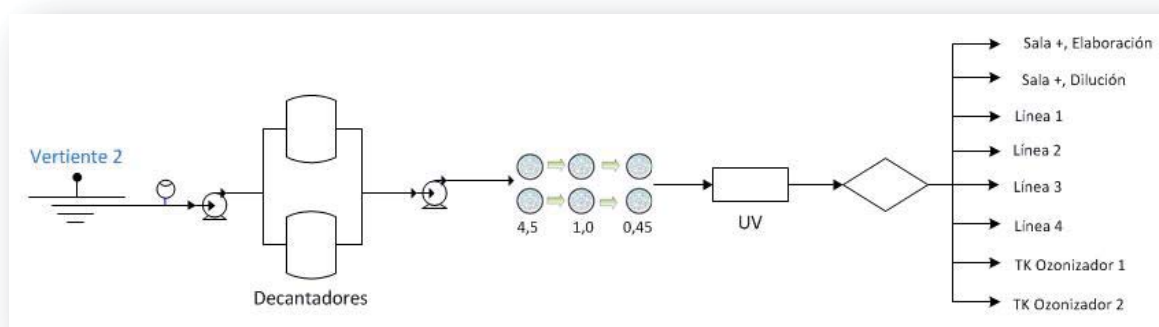
Por su parte, los procesos productivos se llevan a cabo en 5 líneas de elaboración, las cuales se identifican como línea 1, 2, 3, 4 y bidones, siendo la línea n°3 la única específica para botellas de vidrio.

Independiente de la línea de manufactura que se utilice en el proceso, en condiciones normales de trabajo, la planta se rige por el siguiente camino de producción;

Se extrae el agua desde la Vertiente 2, a unos 18°C aproximadamente, mediante tres bombas de succión, las cuales transportan el agua mineral hasta dos estanques decantadores de 15 (m<sup>3</sup>) de capacidad cada uno, lugar donde se decanta la mayor cantidad de material presente en el agua, especialmente arena. Luego, se transporta mediante tres bombas centrífugas a una Sala de Filtración, en donde el agua pasa por un equipo de filtración con tres distintos tamaños de cartuchos, 4,5 – 1,0 – 0,45 (micras) respectivamente, para así retirar todo tipo de material particulado restante. Continuando con el proceso, en esta misma sala de filtro, se encuentra un equipo de Filtración Microbiológico o de Radiación UV, el cual elimina el 100% de los microorganismos indeseables presentes en el agua.

Cabe mencionar, que el proceso de filtración realizado, es el único permitido en Chile para las Aguas Minerales<sup>1</sup>.

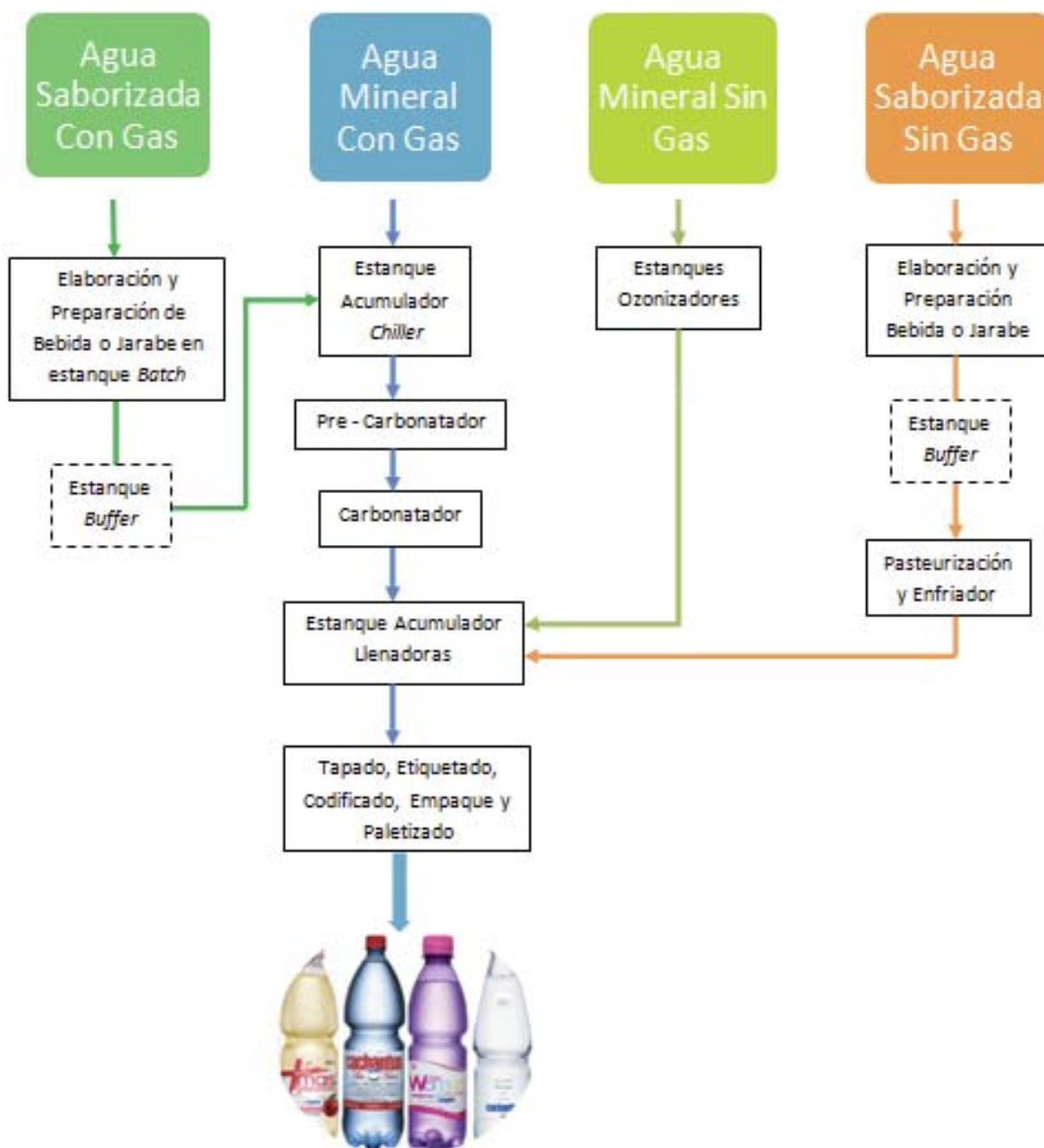
Posterior a este proceso de esterilización del agua, dentro de esta misma Sala de Filtro se encuentra un manifold de distribución, en donde el agua, inocua para el consumo, se envía a distintos puntos de consumo, como lo son; las cinco líneas de producción (para el caso que se produzca agua mineral gasificada), Sala de Pasteurización, Sala de Elaboración, y a dos Estanques Ozonizadores, los cuales se encargan de preparar el agua mineral sin gas. Estos estanques ozonizadores se encuentran diferenciados numéricamente, tal como muestra la figura N°3.



**Figura 3. Diagrama de Flujo General al Proceso Productivo en Planta Cachantun.**

<sup>1</sup> D.S. 106/1997 del Ministerio de Salud, Artículo 35°, Capítulo V: *De las Aguas Minerales destinadas al consumo o expendio*

En general, según el producto requerido, una vez realizado el proceso de esterilización del agua, (independiente del formato solicitado), el agua pasa por un proceso de elaboración y preparación según corresponda, tal como muestra la figura N° 4:



**Figura 4. Descripción General del Proceso Productivo en Aguas CCU - Nestlé.**

En resumen, como se muestra en la figura 4, se distinguen 5 tipos de preparaciones de producto en la planta; la preparación de agua mineral gasificada, *light gas*, sin gas (también conocida como



agua ozonizada), la elaboración de las aguas saborizadas con gas y saborizadas sin gas, los cuales se describen a continuación.

1) Para la producción de Agua Mineral con Gas (independiente de la línea de proceso que se utilice), el agua proveniente del manifold de distribución ubicado en la Sala de Filtro, llega a un Equipo *Chiller*, el cual almacena y enfría el agua, a una temperatura de 9°C aproximadamente, para luego ser llevada a un Estanque Desaireador o Pre – Carbonatador, el cual se encarga de extraer el exceso de aire existente en el agua (ya sea por adición de CO<sub>2</sub> o por producción de vacío en este equipo), para que de esta manera, el CO<sub>2</sub> se absorba con mayor facilidad en la etapa siguiente. Posterior al estanque desaireador, el agua ingresa a un Estanque Carbonatador o *Mixer*, lugar en donde el agua se mezcla y se satura con Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), a  $3,2 \pm 0,5$ [bar] de presión. Luego, el agua mineral carbonatada, es enviada a la máquina llenadora de la línea en la que se encuentra operando. La Llenadora, es un equipo electrónico y electromecánico que tiene por finalidad el llenado en forma automática de las botellas.

Finalmente, el agua es embotellada, tapada, etiquetada, codificada y empacada, para ser distribuida y comercializada a los distintos puntos solicitados.

Cabe mencionar, que en la máquina Empacadora, se trabaja en un rango de temperatura de entre 180 a 190°C, la cual varía según formato a empacar, y el material utilizado para empacar las botellas, es un nylon termocontraíble, el cual trabaja a estas temperaturas. A su vez, este sistema de empaque utilizado no daña ni altera el producto, ya que posee unos ventiladores a la salida de la máquina, en donde además, el tiempo de residencia de las botellas dentro del horno, no es superior a los 10 [s].

2) Para el caso de producir aguas minerales suavemente gasificadas (*Light Gas*), solo varía la dosificación de la concentración inyectada de CO<sub>2</sub>, a una presión estándar de 2,4 [bar] con un rango de  $\pm 0,5$  [bar] de variación.

3) Para la elaboración del agua mineral sin gas, el agua proveniente desde la sala de Filtro llega a un Estanque Ozonizador en donde se le inyecta ozono (O<sub>3</sub>), previamente preparado, hasta llegar a una concentración de trabajo establecida de 0.1 a 0.15 ppm, luego esta solución producto es enviada directamente al Estanque Llenador de la línea de producción en la que se trabajará, para finalmente pasar por el proceso de tapado, etiquetado, codificado, empaque y paletizado. Se le añade ozono al agua sin gasificar para eliminar cualquier organismo dañino en ella, actuando como germicida durante el tiempo que se indica en el envase.

4) Para el caso de las Aguas Saborizadas con gas, el proceso es similar a la preparación de aguas minerales gasificadas, con la excepción de que el agua previa a ser enviada al equipo *Chiller*, es dirigida desde la Sala de Filtro a la Sala de Elaboración, en donde se realiza la preparación de la bebida solicitada, para luego continuar con los mismos pasos mostrados en la figura n° 4.

5) Finalmente, la fabricación de las Aguas Saborizadas sin gas, se basa en la inicial preparación de la bebida requerida en estanques *batch* de 16 (m<sup>3</sup>) de capacidad en una sala de elaboración, luego pasa a un proceso de pasteurización e inmediato enfriamiento, para que finalmente esta bebida sea enviada a la línea de producción asignada, llegando inicialmente a los

estanques de Llenadoras, y luego continuar con el proceso de tapado, etiquetado, codificado, empaque y paletizado.

Es importante destacar, que existen dos alternativas al momento de elaborar aguas saborizadas, dependiendo de la cantidad de producto solicitado, pueden ser a partir de bebidas (nombradas anteriormente) o jarabes, los cuales se diferencian por ser 5 veces más concentrado que la bebida, y por ser así, debe pasar por una etapa de dilución previa al proceso de pasteurización (en caso de ser sin gas), por lo que se mezcla con agua en la red hasta llegar a un estanque *Buffer* de 8 m<sup>3</sup> para convertirse en bebida y así, continuar con el proceso requerido señalado en la figura n°4.

Cabe señalar, que en los 5 procesos de elaboración de productos en la planta Cachantun mencionados anteriormente, cuentan con un monitoreo continuo de inocuidad para su consumo por parte de aseguramiento de calidad, laboratorio y operarios capacitados, tanto en puntos de inicio, intermedios y finales de su preparación.

Junto a lo anterior, es importante mencionar, que se incorporó una sexta línea de producción a la Planta durante el transcurso de esta investigación (misma razón por la cual no fue considerada en esta investigación). Esta línea de producción cuenta con mayor tecnología, volviéndola una línea altamente automatizada, reduciendo notoriamente el consumo de agua y de CO<sub>2</sub> en ella. En general, contrastando con las líneas de producción existentes, la línea n° 5 posee su propio proceso de soplado de preformas, las cuales al tomar la forma requerida y junto a la tapa, atraviesan una etapa de radiación UV micro bacteriana, previa a su utilización dentro del proceso de llenado, lo cual lo hace prescindir del lavado de botellas utilizado en las otras líneas. Asimismo, reduce el consumo de CO<sub>2</sub> y de aire, ya que al presurizar el estanque de la llenadora cuando se produce agua mineral carbonatada, este proceso se realiza con aire estéril en lugar de CO<sub>2</sub>, por lo que al experimentar un cambio de nivel de líquido en este estanque, se libera aire y no dióxido de carbono a la atmósfera. Además, posee una velocidad de producción altamente mayor, con menor tiempo de mantenimiento de sus equipos y mayor exactitud en el llenado de botellas. Lo que claramente automatiza a la planta para una mayor producción en el mismo tiempo, consumiendo menores recursos y produciendo menor cantidad de mermas.

### 1.3 Definición del Problema a Investigar

Buscar alternativas y/o soluciones para salvaguardar la existencia del agua, se vuelve una labor primordial para todos, tanto a nivel de empresas como de cada individuo en su actuar diario.

La disminución del indicador hídrico de la planta [hl extraídos/hl producidos], se enfoca en la re – utilización de agua residual (es aquella que procede del empleo de un agua natural en un uso determinado) y que posee un alto potencial de un segundo empleo, optimizando el uso de este recurso y disminuyendo directamente la extracción de agua desde las vertientes. Como es el caso del agua industrial posterior al lavado de botellas PET (de material polietilentereftalato), el cual se identifica por ser agua clorada con probable presencia de material particulado en ella, y la cual es enviada directamente al drenaje como *ril* (residuo industrial líquido).

Lo que además se traduce, en disminuir el volumen de agua tratada como residuo industrial líquido (y consumo de químicos asociados a su tratamiento), y que con su re – utilización se puede abastecer otros procesos industriales de la Planta, como el lavado de pisos, lubricación de cintas transportadoras, entre otros que serán mencionados más adelante.

Sin dejar atrás el hecho, de que se contribuye al cuidado de un recurso natural vital con posible escasez.

Por esta razón, en primera instancia, se tomarán datos de extracción y producción de agua en la Planta, para conocer el comportamiento de su indicador hídrico durante el año 2014, luego se realiza un diagrama de flujo general al proceso de producción, especificando las zonas de consumo y utilización del agua en los procesos, para luego continuar con una estimación de los consumos de agua industrial en servicios y en zonas que no se tengan datos, y de esta manera, conocer y determinar los puntos de mayor consumo de agua y con posibilidades de recuperación o reutilización del recurso hídrico existente en la planta, para finalmente en base a esta información, llevar a cabo un proyecto de sustentabilidad técnica de optimización del uso del recurso hídrico en la empresa.

## 1.4 Antecedentes de la situación Problema

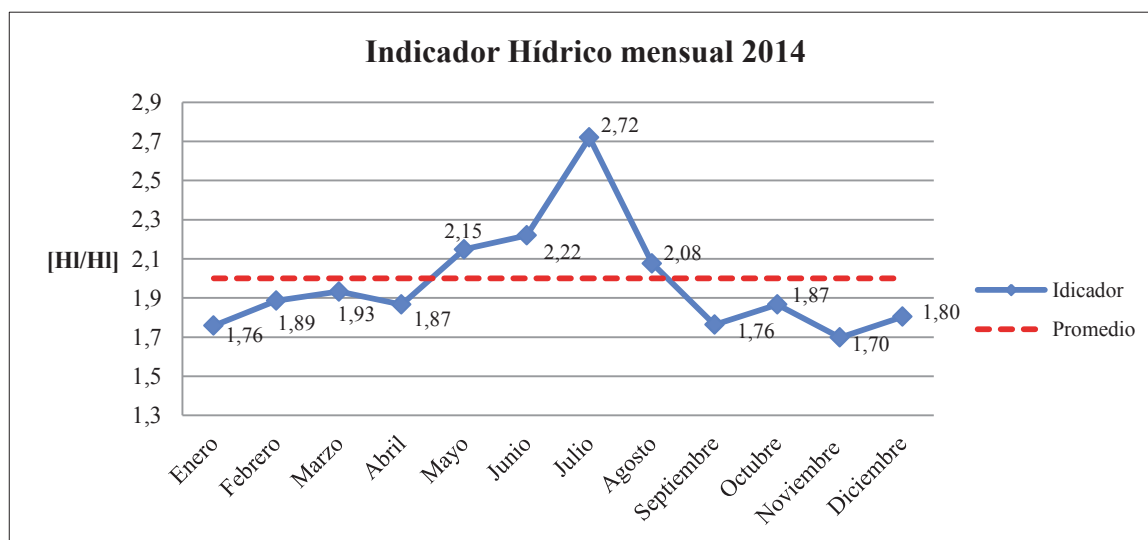
En la Planta de Aguas CCU – Nestlé S.A, diariamente se lleva un registro sobre la cantidad de agua que se extrae desde las vertientes 1 y 2 (lo cual corresponde al total del agua consumida), y de la cantidad de aguas elaboradas que se comercializan día a día (agua producida), ya sean aguas carbonatadas, ozonizadas, saborizadas con gas o aguas saborizadas sin gas. Obteniendo así, los indicadores hídricos alcanzados el año 2013 y 2014, los cuales son mostrados en la tabla N° 3.

**Tabla 3. Datos del Agua Total Consumida y Comercializada en Planta Cachantun.**

Años	Producción Total [Hl/año]	Extracción Total [Hl/año]	Indicador [HI/HI]
2013	1.656.008	3.257.630	2,06
2014	1.915.512	3.645.528	2,0

Se aprecia que el proceso destina alrededor del 50% del total del agua extraída a producto terminado y el otro 50% se utiliza como agua industrial en sus procesos, ya sea en servicios, lavados, u otros.

Llevando estos datos a un contexto más específico, se estima el indicador hídrico mensual obtenido en la Planta, es decir, la razón de *Agua Consumida/Agua Producida* para el año 2014, mostrado en la Figura N° 5.



**Figura 5. Indicador Hídrico mensual en Planta Cachantun durante el 2014.**

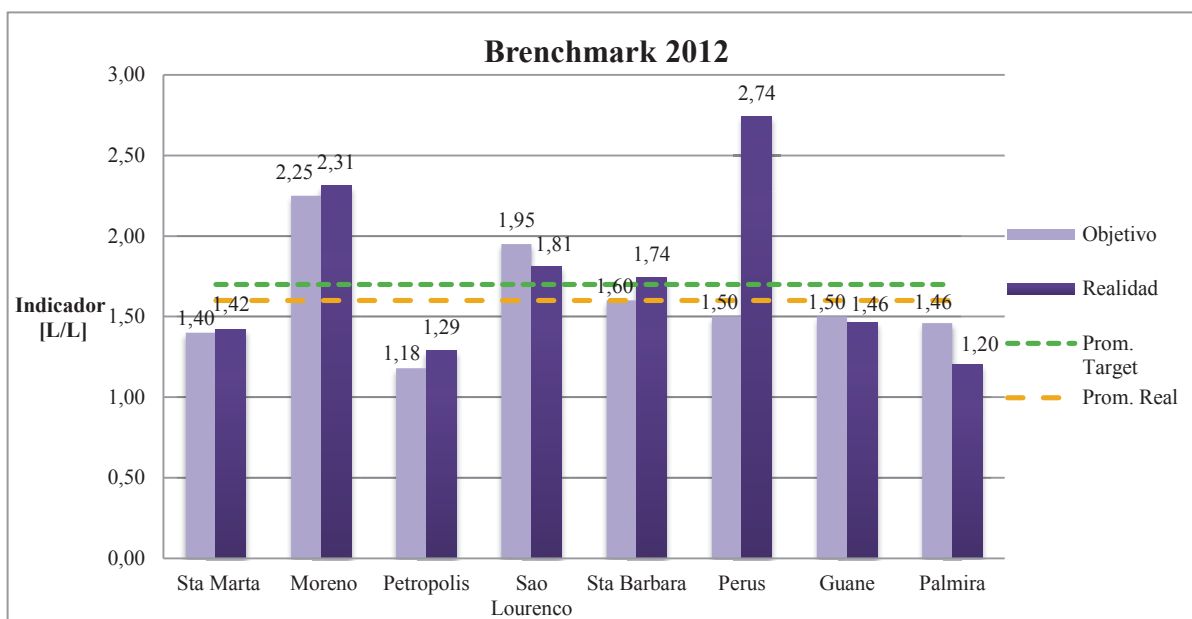
Esta gráfica muestra que en promedio para el año 2014 se obtuvo un indicador hídrico de 2,0 [hl consumidos/hl producidos] revelando que en los meses de Mayo a Agosto se acentúa un alza de éste por sobre el promedio, lo que concuerda con la temporada de baja producción en la planta, por lo que se infiere que la cantidad de agua extraída se mantiene relativamente constante.

Contrastando este indicador con los de otras embotelladoras de agua mineral en países cercanos se obtienen los datos mostrados en la Tabla N° 4.

**Tabla 4. Índices de Agua Consumida/Agua Producida en Sudamérica en 2012.**

País	Embotelladora	Realidad	Objetivo
México	Sta Marta	1,42	1,40
Argentina	Moreno	2,31	2,25
Brasil	Petropolis	1,29	1,18
	Sao Lourenco	1,81	1,95
	Sta Barbara	1,74	1,60
	Perus	2,74	1,50
Cuba	Guane	1,46	1,50
	Palmira	1,20	1,46
	<b>Promedio</b>	<b>1,7</b>	<b>1,6</b>

Los cuales se representan en el gráfico mostrado en la figura N° 6.



**Figura 6. Benchmark Indicador Hídrico en Embotelladoras de Agua Mineral en Sudamérica.**

En Argentina, la embotelladora de agua mineral “Moreno” posee un índice de consumo de agua por cada litro de bebida producida de 2.31 [L/L], mientras que en México, la embotelladora “Sta Maria” cuenta con un indicador hídrico de 1.42, ambos para el año 2012. Así, para distintas embotelladoras similares a Cachantún en Sudamérica, se muestra un promedio general de un 1,6 siendo el objetivo para ellos de un 1,7.

En base a estos datos, se fija una meta de disminuir la extracción de agua mineral desde las vertientes en un 20%, alcanzando un indicador hídrico de un 1,6 [hl/hl].

## 1.5 Razones personales para realizar este proyecto

El agua es un recurso natural vital para nuestra existencia. Sin embargo, existe una gran cantidad de personas que, a veces sin intención, malgastan este recurso.

En el año 2010, aproximadamente 884 millones de personas carecían de acceso al agua potable<sup>1</sup> y cada año fallecían 1,5 millones de niños menores de 5 años por falta de acceso a un saneamiento básico<sup>2</sup>.

Por lo que se vuelve necesario reconocer la importancia de disponer de agua potable y reafirmar la responsabilidad de cada persona por no contribuir en estas estadísticas, formando además, una conciencia de compromiso con el futuro de la humanidad.

La formación profesional entregada por la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, ha entregado junto a sus conocimientos; valores, visión y ansias de construir un mejor país. Además, como ser humano, no se puede dejar de analizar la opción de generar alternativas utilizando los conocimientos adquiridos, para reducir el consumo de este recurso, tanto en el uso doméstico como el implicado por las grandes industrias, como este caso.

## 1.6 Justificación del estudio para la EIQ

Para la Escuela de Ingeniería Química, la investigación está definida como una de las actividades básicas del alumno formado en esta institución. La Escuela, en su calidad de formadora de profesionales de la ingeniería, valora y reconoce la importancia de encontrar soluciones, formando personas útiles para la sociedad, con un alto sentido de búsqueda por el bienestar social y ambiental en cualquier proceso productivo.

Teniendo siempre como objetivo principal, contribuir al desarrollo productivo nacional por medio de la generación de soluciones innovadoras, orientadas al aumento del valor agregado de productos o en este caso, del desarrollo sustentable con respecto a la naturaleza.

También se verán reflejadas técnicas de aprendizaje entregadas por la universidad como encontrar el problema, buscar soluciones, aplicar conceptos técnicos de selección de alternativas, análisis de beneficios, y factibilidad técnica de la investigación realizada.

En base a lo anterior, el estudio realizado en este informe, comprende lo señalado donde se busca encontrar solución a un problema que implica mejorar el uso de un recurso vital como lo es el agua y volver sustentable este proceso de producción en el tiempo, buscando alternativas de mejora en la explotación del agua.

---

<sup>2</sup> Véase *Resolución Aprobada por la Asamblea General de las Naciones Unidas el 28 de Julio de 2010*

## 1.7 Objetivo General y Objetivos Específicos

Conociendo la situación presente en Planta Cachantun, y en base a la situación presente además, en el mundo, con el riesgo que corre el agua por una posible escasez, y lo vital que es este recurso, el objetivo general de este proyecto, es generar una propuesta, con su respectivo diseño y evaluación técnica y económica, para la optimización del uso del agua industrial en el proceso de producción de Aguas CCU - Nestlé, localizada en la comuna de Coinco, VI Región, buscando disminuir la cantidad de agua consumida al elaborar un litro de agua producto, es decir, disminuir el indicador hídrico de 2,0 alcanzado en el año 2014 a un 1,6 (en base a los resultados obtenidos por plantas comparativas de aguas minerales en el mundo), produciendo un proceso industrial sustentable en el tiempo.

Para lograr esto, se proponen los siguientes cinco objetivos específicos:

1. El primer objetivo específico se basa en realizar un esquema del proceso actual de producción en la planta, tomando una idea general de cómo funciona y trabaja el proceso de manufacturación.
2. Identificar distribución, zonas y volúmenes de consumo y utilización existentes del agua en la Planta, describiendo además, los procesos unitarios involucrados en la producción.
3. Analizar puntos de factibilidad para una reutilización significativa del recurso hídrico.
4. Realizar un análisis químico al agua industrial del proceso seleccionado para verificar que se encuentre en condiciones de ser reutilizada o saber si es necesario proceder a alguna intervención.
5. Realizar una propuesta, con su respectiva factibilidad técnica, para la reutilización del agua industrial identificada en base a la información obtenida anteriormente, disminuyendo a su vez la razón del indicador hídrico.

## 1.8 Metodología

Dentro de esta investigación, con el propósito de llevar a cabo un proyecto en busca de la optimización de un proceso, se utilizará la metodología DMAIC para describir, desarrollar y confeccionarlo.

DMAIC es una metodología desarrollada por Motorola a principios de los años 90, la cual se basa en la estadística minimizando las posibilidades de errores. Consta de 5 pasos secuenciales a

seguir los cuales tienen como finalidad la mejora continua de los procesos en el tiempo. Estos pasos se denotan en las iniciales de este acrónimo y los cuales se describen a continuación:

1. Definir: Se define el problema a solucionar, sus objetivos, delimitaciones y se definen los procesos involucrados

2. Medir: Se mide el desempeño actual del proceso, documentando los datos que se requieren encontrar para determinar este proceder de trabajo, validando el sistema de medición en caso que sea necesario.

3. Analizar: Analizar los datos del proceso para identificar y verificar las potenciales causas raíces de los problemas o defectos, comprendiendo la razón de las variaciones en los procesos y establecer sus oportunidades de mejora.

4. Mejorar (*Improve*): Desarrollar, planear e implementar las soluciones potenciales de mejora. Se evalúa, selecciona y verifica la solución final para mejorar y/u optimizar el proceso.

5. Controlar: Implementar la solución seleccionada, estandarizando su control para garantizar una mejora continua sostenida, asegurando que los nuevos problemas sean identificados rápidamente.

En base a esta metodología, se lleva a cabo el proyecto especificado.

## 1.9 Delimitación de la investigación

Las limitaciones se constituyen por factores externos al estudiante que realiza esta investigación, y los cuales se convierten en obstáculos que eventualmente pudieran presentarse durante el desarrollo del presente estudio, ya que finalmente son efectos perturbadores provocados por variables ajenas, por estas mismas razones, se vuelve necesario que se expliquen las limitaciones presentes en el proyecto a realizar con el fin de facilitar su viabilidad. Aunque si bien, la mayoría de ellos se presentan durante el desarrollo de éste.

Basándose en que esta investigación se realiza desarrollando un tema de interés para una empresa, las limitaciones son muy pocas o casi nulas, ya que se aporta y entrega desde el inicio la información y recursos necesarios solicitados, considerando además la gran disposición a la colaboración por parte de sus trabajadores.

Por su parte, cabe mencionar, que el marco de estudio en que se desarrollará esta investigación es actado, es decir, que el proyecto presentado es adecuado para la planta cachantun, basándose en su modo de operación y trabajo incorporado, por lo que este estudio no es aplicable a otras empresas.



**Capítulo II: ESTUDIO DE LA  
DISTRIBUCIÓN, CONSUMO Y  
UTILIZACIÓN DEL AGUA EN LA EMPRESA**

## 2.1 Distribución de consumo y Requerimiento del recurso hídrico en la planta

### 2.1.1 Diagrama de Flujo al Agua en la Planta

De manera de especificar el proceso de manufacturación llevado a cabo por Planta Cachantun, se presentan los siguientes esquemas distinguiendo las dos fuentes de agua que abastecen la empresa (vertiente 1 y 2) y los usos que se le proporciona a cada una. Estando el proceso de de producción desde la vertiente 2 detallado en el punto 1.2 capítulo I.

#### 2.1.1.1 Diagrama de Flujo al Agua desde Vertiente 2

El agua mineral extraída desde la Vertiente n° 2 tiene por objetivo principal ser producto, es decir, es el agua que se utiliza para, o bien elaborar las bebidas y jarabes de sabores, o ir directamente a la botella como agua mineral gasificada u ozonizada, posterior a su proceso de inocuidad correspondiente, el diagrama es mostrado en la figura n°7.

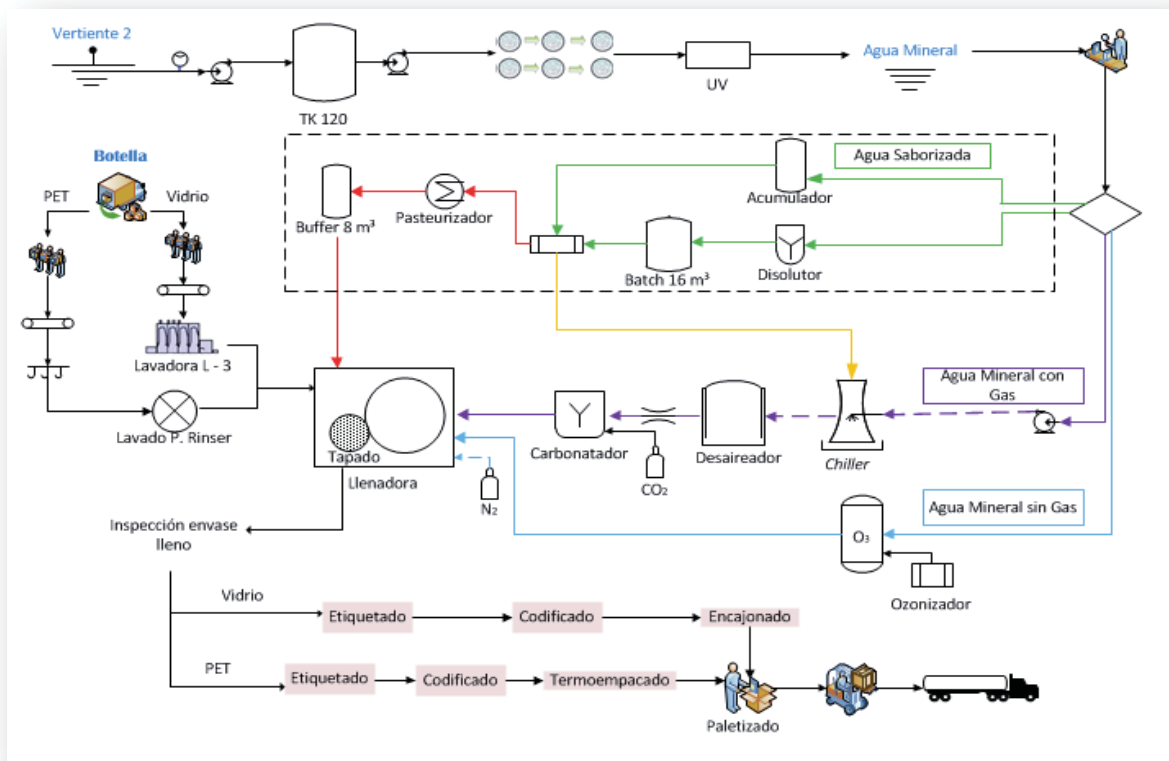


Figura 7. Diagrama de Flujo al Agua Producto en Planta Cachantun.

Inicialmente, como se explica en el punto 1.2 del capítulo número 1 en este informe, el agua pasa por un proceso de saneamiento, específico para aguas minerales, en donde luego, ésta es distribuida hacia sus distintos puntos de consumo para elaborar productos.

El agua que es enviada hacia la Sala + o Sala de elaboración, se utiliza en la preparación de las bebidas y jarabes saborizadas que luego pasan por un proceso de pasteurización (para el caso de las

bebidas sin gasificación), y posteriormente son enviadas a las máquinas llenadoras de las líneas de producción correspondientes. Para el caso en que se haya preparado jarabe, ésta Sala tiene una segunda entrada de agua con el propósito de acumularse en un estanque y diluir el jarabe preparado hasta convertirlo en bebida.

El agua que se destina directamente a las líneas de producción 1, 2, 3, 4 y Bidones, es utilizada para embotellar aguas minerales gasificadas cuando esto es solicitado.

Por su parte, el agua que es enviada a los estanques ozonizadores, pasa por un proceso de adición de ozono (O<sub>3</sub>) hasta saturarla, para luego ser enviada a las máquinas llenadoras de las líneas de producción que soliciten este producto.

### 2.1.1.2 Diagrama de Flujo al Agua desde Vertiente 1.

A diferencia del agua extraída desde la Vertiente 2, el agua de la Vertiente n° 1 es aquella que forma parte del proceso industrial productivo de la Planta utilizada en servicios. Es decir, es el agua utilizada en el lavado de botellas, aseo, riego, lubricación de cintas transportadoras, higienización de equipos y cañerías, etc. Esta agua, posterior a cumplir su función, es conducida al drenaje, y posteriormente a la Planta de Tratamiento de Riles (PTR), como se muestra en la figura n° 8.

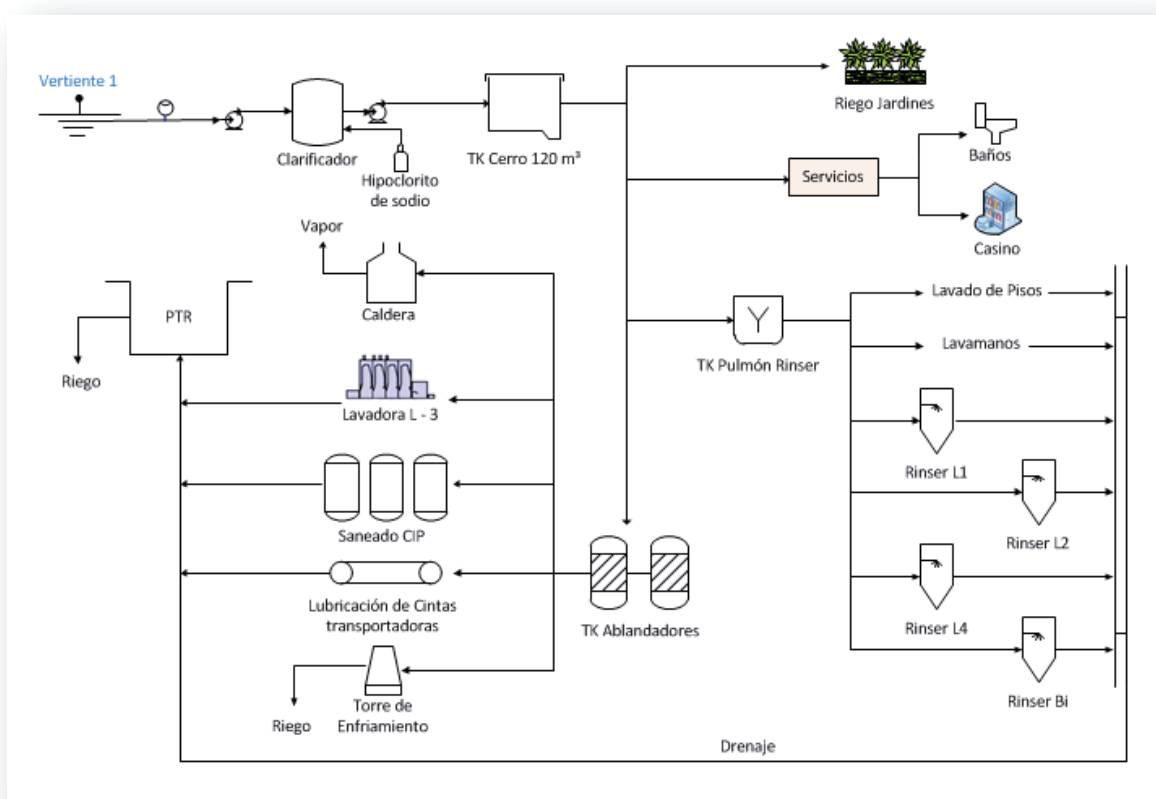


Figura 8. Diagrama de Flujo al Agua de uso en Servicios en Planta Cachantun.

El recurso hídrico es extraído desde la Vertiente 1 con un caudal de 1,16 [L/s] aproximadamente, luego pasa por un estanque Clarificador, el cual precipita los sólidos sedimentables y le añade hipoclorito de sodio al agua, hasta obtener una concentración de entre 0,2 a 0,5 ppm de Cloro en la solución.

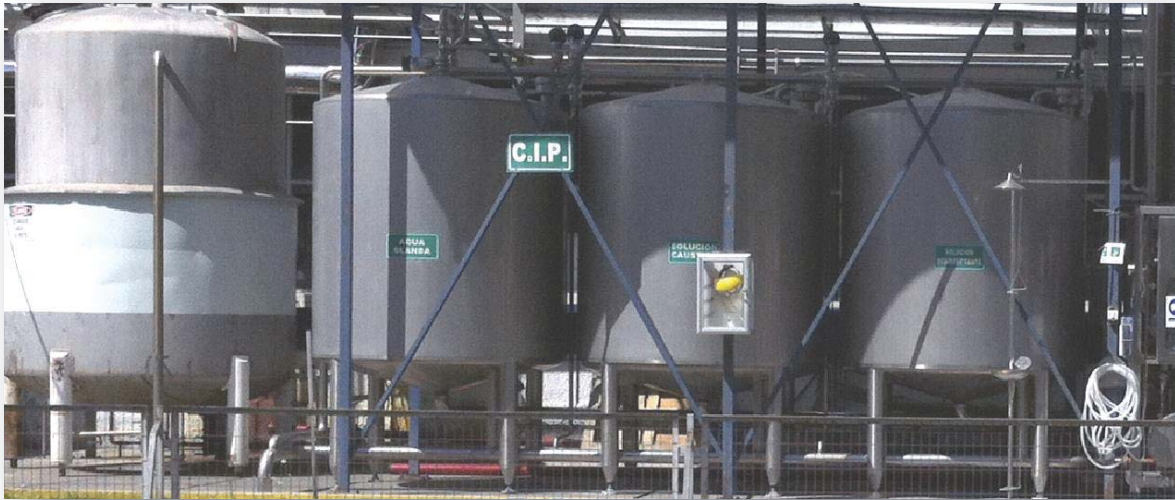
Una vez tratada el agua, se almacena en un estanque de 120 [m<sup>3</sup>] de capacidad ubicada en el cerro, el cual se encarga de acumular y a su vez proporcionar los caudales de agua solicitados en los servicios requeridos. Así, envía agua a los servicios primordiales como casino y baños, al riego de áreas verdes, a las Torres de Ablandamiento y al Estanque Pulmón *Rinser*, el cual cumple el mismo objetivo que el estanque del cerro, acumular el agua y distribuirlo en forma continua a los estanques *rinser* para el lavado de botellas PET de las líneas de producción 1, 2 y 4.

Como se menciona anteriormente, el estanque del cerro suministra el agua necesaria para los procesos que requieren agua blanda en su actuar, como lo son la caldera, el tratamiento de saneamiento *CIP (Clean in Place)* de equipos y tuberías, el lavado de botellas de vidrio en la línea n°3, la lubricación de las cintas transportadoras ubicadas en las líneas de producción, y a la torre de enfriamiento, la cual se encarga de disminuir la temperatura de las botellas formadas desde una preforma en la máquina sopladora, la cual suministra una temperatura cercana a los 105°C a ésta.

## 2.1.2 Descripción de los procesos involucrados

### 2.1.2.1 Saneado CIP

El saneado, es un proceso de sanitización o higienización, que tiene por objetivo disminuir la carga microbiológica presente en equipos, estanques y tuberías, controlando el desarrollo y reproducción de microorganismos patógenos presentes en el medio ambiente mediante métodos físicos (aplicando altas temperaturas o radiaciones) y métodos químicos, empleando productos alcalinos o ácidos.



**Figura 9. Circuito de preparación de un Saneado CIP.**

Su ejecución consta de dos pasos fundamentales; inicialmente, preparar el saneado en un equipo especializado y automatizado que consta de 3 estanques térmicos de 6 [m<sup>3</sup>] de capacidad cada uno, mostrados en la figura n° 9. Y segundo, estas soluciones ya preparadas se deben transportar, según corresponda, a los equipos en que se requiere este circuito de desinfección.

La preparación de un saneado *CIP* (*Clean in Place*), consta de 3 pasos primordiales: El primero es cargar un primer estanque con agua blanda hasta llegar a su volumen de trabajo de 4.500 [L]. Luego, en el tercer estanque, se prepara una solución desinfectante (de nombre comercial Vortexx), ingresando agua blanda desde el primer estanque y manteniéndola en recirculación durante la fase de dosificación del desinfectante líquido, el cual es inyectado por una bomba externa al estanque. Esta bomba añade una cantidad de *vortexx* específica para alcanzar una concentración de 0,2% en el estanque. A continuación en el segundo estanque, se prepara una solución de lavado alcalina, en donde se le ingresa agua blanda desde el primer estanque, al igual que en el caso anterior (por lo que se debe agregar continuamente agua blanda al primer estanque), ésta agua se mantiene en recirculación por el segundo estanque durante la fase de dosificación de soda cáustica (de nombre comercial MIP). Durante esta dosificación, una sonda específica (conductímetro) mide la conductividad de la solución, hasta que se alcance la concentración de *set point* (46 mS de conductividad), punto donde envía una señal eléctrica para cerrar la válvula de adición de la soda. Finalmente, se vuelve a adicionar agua blanca al primer estanque hasta su nivel de trabajo.

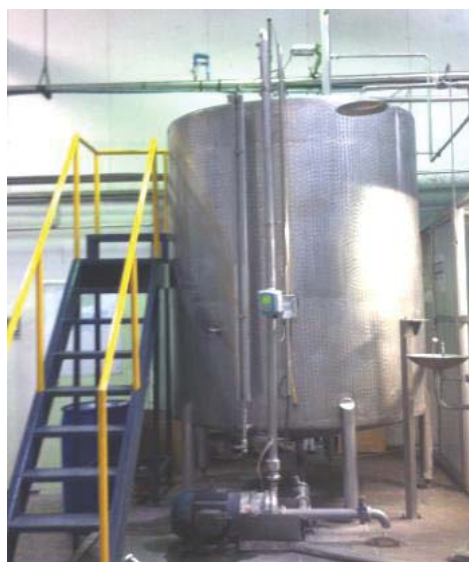
Cabe mencionar, que antes de cada preparación en los estanques dos y tres, se realiza un enjuague a las cañerías y redes utilizadas en el sistema, para quitar todo residuo presente en ellas, y así evitar posibles contaminaciones en las preparaciones y garantizar la efectividad del circuito de desinfección.

Una vez preparadas estas tres soluciones en sus respectivos estanques, se procede a transportar estas soluciones, según procedimiento precisado, a los equipos en los que se llevara a cabo el saneado (para mayor detalles revisar ANEXO B, página 1).

### **2.1.2.2 Estanque Pulmón *Rinser***

El Estanque Pulmón *Rinser*, ilustrado en la figura n°10, es un estanque acumulador de agua mineral clarificada, posee una capacidad total de 5.000 [L] y un volumen de trabajo de aproximadamente 4.000 [L]. Su función es distribuir agua de forma continua a estanques particulares (Estanques *Rinser*), ubicados en las líneas de producción 1, 2 y 4. Estos estanques *Rinser* se encargan de llevar a cabo el lavado de las botellas *pet* por inyección de agua dentro de ellas, antes de pasar al proceso de llenado automático, removiendo polvo y material particulado de éstas. Su contenido posee una concentración de 0,3 a 0,6 ppm de cloro activo aproximadamente, lo cual incrementa su capacidad de desinfección, entre otros.

Esta agua una vez utilizada, se dirige directamente a piso y al drenaje, mezclándose con todo los tipos de agua desechadas de la planta, dirigiéndose posteriormente a la Planta de Tratamiento de Riles.



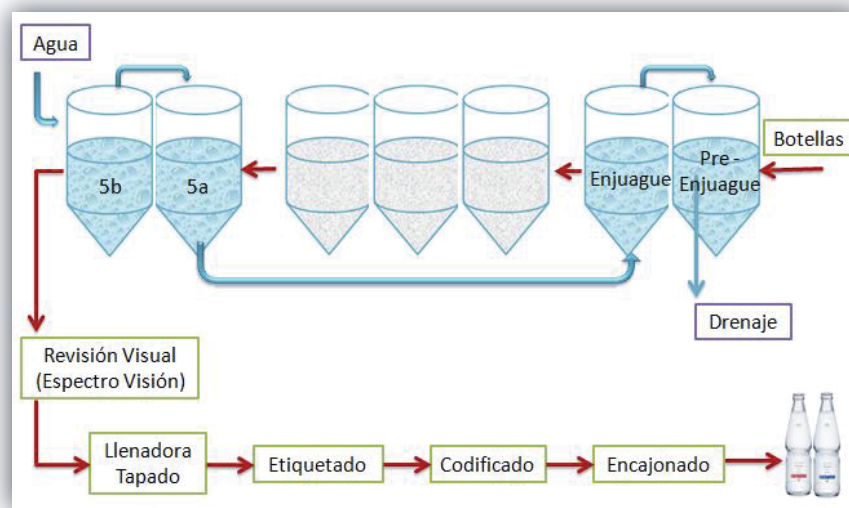
**Figura 10. Estanque Pulmón *Rinser* en Planta Cachantun.**

### 2.1.2.3 Línea de Producción Botellas de Vidrio

Como se menciona inicialmente en este informe, la planta actualmente trabaja con 5 líneas de producción, las cuales se identifican numéricamente exceptuando la línea de producción de bidones. La línea de producción n° 3, está destinada a la elaboración de agua mineral gasificada y ozonizada en botellas de vidrio retornables y desechables.

En su proceso de manufactura, la línea n°3 comienza retirando las botellas de vidrio retornables y desechables, según sea el caso, desde las jvas plásticas colocándolas en la cinta transportadora, la cual las envía a una lavadora (figura n° 11). Luego atraviesan una inspección visual, para posteriormente ser emitidas a la Llenadora. Siguiendo a esto, la botella es tapada, etiquetada, codificada, encajonada y distribuida.

La Lavadora, propiamente tal, es el nombre de la máquina utilizada para el lavado de las botellas de vidrio, con la cual se busca remover toda impureza existente, quitar el etiquetado con el que viene y abrillantar la botella, para así entregarla en las condiciones inocuas requeridas, y continuar con el proceso de producción.



**Figura 11. Diagrama de Flujo General de manufactura en Línea N°3.**

Esta máquina, como se muestra en la figura n°11, consta de 7 estanques en su interior; dos estanques de enjuague inicial a la botella, por medio de la inmersión de éstas en una solución clorada, en donde se busca quitar toda suciedad, líquido o material con que vienen las botellas. Luego continúan 3 estanques de soda cáustica en solución, en donde se puede trabajar con adición de temperatura o a temperatura ambiente, dependiendo si la producción es de botellas retornables o desechables, respectivamente. Y termina con dos estanques de enjuague final por medio de inyección de otra solución de agua clorada (estanques 5a y 5b).

Estos 4 estanques de enjuague (dos iniciales y dos finales), mantienen en constante renovación la solución clorada en su interior, ya que entra de forma continua el agua blanda por el estanque 5a, y la dosificación de cloro, luego por rebalse se adiciona ésta solución al estanque 5b, continuando por una cañería ubicada por fondo hasta llegar al primer estanque de enjuague y pre enjuague de la lavadora, como se muestra en la figura 11, luego esta agua es enviada directamente al drenaje, así

durante todo el turno que opere la cadena de producción n° 3 (para mayor información con respecto al proceso revisar ANEXO B, página 5).

#### **2.1.2.4 Generador de vapor**

El generador de vapor utilizado en la Planta Cachantun es una caldera a carbón fabricada en el año 1980, la cual se encarga de suministrar vapor a los distintos procesos que lo soliciten durante la operación. Produce, teóricamente, 3500 [kg de vapor/hora] bajo una presión de trabajo máxima de 9 [kg/cm<sup>2</sup>] y utilizando carboncillo como combustible.

Esta máquina proporciona vapor a tres procesos en la planta, los cuales son la lavadora de la línea n°3, en donde se encarga de mantener la temperatura requerida en los estanques de lavado y en el estanque de soda cáustica. También suministra vapor al proceso de saneado *CIP* en su etapa de preparación, llevando la soda cáustica a una temperatura cercana a los 60°C y mantenerla en ese punto, y el agua a unos 80°C en caso de solicitar un *shock* térmico. A su vez, entrega vapor para el equipo pasteurizador en la sala de elaboración de bebidas.

Cada uno de estos puntos cuenta con una trampa de vapor, incluyendo uno que se encuentra en el manifold principal de distribución de vapor ubicada en la caldera. Estas trampas de vapor, figura n° 12, se encargan de disminuir las pérdidas de vapor luego de su utilización, por lo que lo condensa y lo retorna a la sala de caldera como alimentación al estanque de agua blanda.



**Figura 12. Trampa de vapor del manifold de distribución general de vapor.**



### 2.1.2.5 Planta de tratamiento de Riles

La planta de tratamiento de Riles (PTR), mostrada en la figura n° 13, es una planta anexa a la Planta Cachantun, y se encarga de someter a procesos químicos y biológicos a los residuos líquidos industriales (ril) y de servicios generados por la planta. Éstos riles a tratar, corresponden a aguas desechadas en su proceso productivo (lavado de botellas, lavado de pisos y enjuagues, saneamiento de equipos y redes, lubricación de cintas, entre otros), y residuos líquidos de servicios, ya sea baños, casino o lavamanos.



**Figura 13. Planta de Tratamiento de Riles en Planta Cachantun.**

Estos dos tipos de riles diferenciados en la Planta como aguas de desecho industriales y de servicio, llegan de forma independiente a la PTR, ya que son sometidos a diferentes tratamientos en estanques acondicionados para cada uno. El objetivo es tratar estos riles de forma adecuada, para que el agua pueda ser aceptada por las empresas sanitarias y así poder ser usadas en regadío, verter a un canal, laguna, o simplemente drenar.

El estanque que procesa las mermas propias del proceso productivo, se encarga de neutralizar éstas aguas según la condición con que ingresen a la planta de riles, ya sea adicionando ácido sulfúrico al 98% ( $H_2SO_4$ ) por tope al estanque cuando ésta ingresa con un pH superior a 7 (base), o Soda Cáustica ( $NaOH$ ) cuando ingresa con un pH menor a 7 (ácido). Así hasta que la solución dentro de este estanque alcanza un pH cercano a 7 (neutro), momento en el cual se envía al canal de regadío para su posterior uso, externo a la planta.

Para el caso del agua desechada por concepto de servicios, ésta se procesa en un segundo estanque, el cual procede con un proceso de cloración con hipoclorito de sodio ( $NaOCl$ ) y de cloración mediante el uso de metabisulfito de sodio ( $Na_2S_2O_5$ ) dependiendo de la cantidad de lodos presentes en la mezcla. Estos lodos son medidos 3 veces al día, utilizando una probeta

plástica, en donde se toma la muestra de 100 ml, se espera que decanten los lodos, y luego son medidos en ésta. Por su parte, la solución clorada que se adiciona al estanque posee una concentración ideal de 0,8 ppm, la que sin embargo, opera en un rango de entre 0,6 a 1,2 ppm.

Además, cabe mencionar, que la PTR funciona en forma semicontinua, ya que opera con intervalos de descanso de 15 [min] cada 1 hora de operación, así las 24 horas del día, los 7 días de la semana. Cuando cabe la opción de que la planta no se encuentra operando, esta PTR mantiene una cantidad establecida del agua en tratamiento en recirculación dentro de sus estanques para así mantenerse en funcionamiento.

La operación de este sistema de tratamiento es una forma de mitigación del impacto de la disposición de los residuos industriales líquidos de la empresa, haciendo cumplir además, las normas nacionales vigentes de Emisión para la Regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales (D.S. N°90, *Decreto para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales*).

Además, es importante mencionar que los lodos industriales producidos como subproducto en este tratamiento de depuración del agua, no son tratados en la Planta Cachantun, son extraídos desde los estanques por una empresa externa cada 6 meses aproximadamente, dependiendo la cantidad existente.

Cabe destacar, como se menciona anteriormente, esta planta de tratamiento en anexa a la Planta Cachantun, por lo que cualquier variación de caudal a tratar provocada por este proyecto en alguna disminución de los residuos industriales producidos, no afecta las condiciones económicas acordadas entre las partes.

## 2.2 Requerimiento del Recurso Hídrico en los Procesos.

### 2.2.1 Volumen de agua extraída y producida en 2014

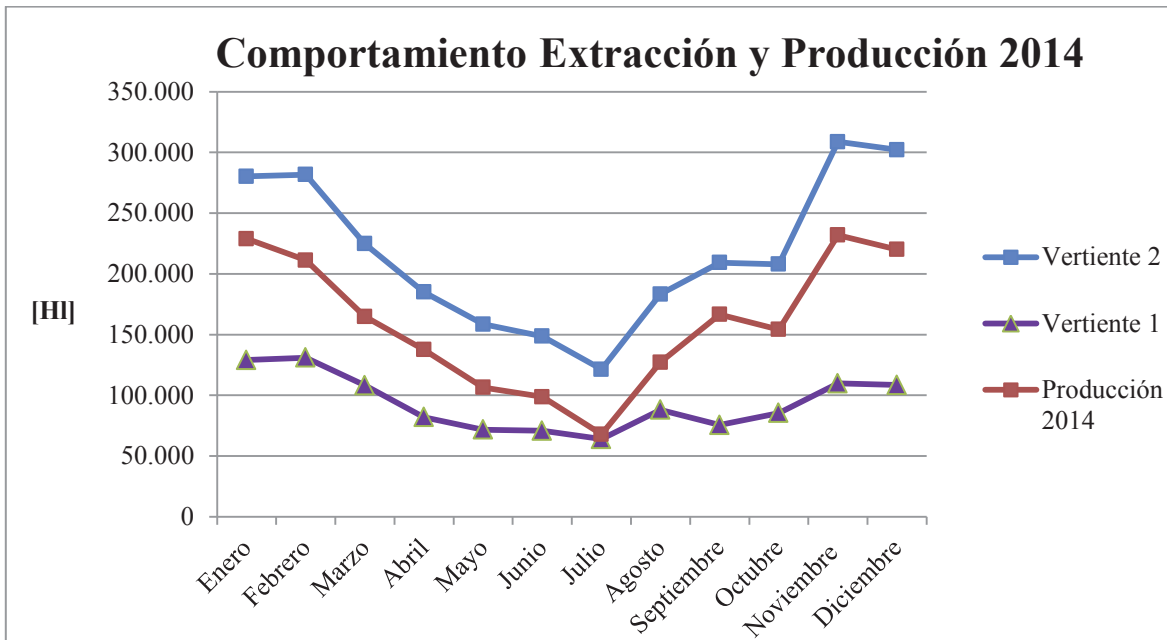
En base al indicador hídrico mencionado al inicio de este informe, se requiere conocer la cantidad de agua total mensual y anual que se extrajo desde las vertientes 1 y 2 durante el año 2014 y el agua total producida por la planta en los mismo periodos de tiempos, para de esta manera conocer y analizar su comportamiento general durante un año de operación regular.

El área de Suministro de la Planta lleva un registro diario de los medidores de flujo situados en los sectores antes mencionados, por lo que se tiene la cantidad real de agua en hectólitros [hl] que se utilizó durante ese periodo. De esta forma, se obtienen los datos mostrados en la tabla n°5 datos:

**Tabla 5. Producción y Extracción Total de Agua en 2014**

<b>Producción 2014 [hl]</b>	1.915.512
<b>Extracción Vertiente 1 [hl]</b>	1.124.097
<b>Extracción Vertiente 2 [hl]</b>	2.611.976

Tomando los datos mensuales registrados, se obtiene el gráfico mostrado en la figura n° 14, el cual muestra el comportamiento estacional que presenta la extracción de agua desde la Vertiente 2 y la elaboración de producto, la cual se rige en base a la demanda por temporadas del agua mineral, mientras que la extracción de la vertiente 1 se mantiene relativamente constante durante estos cambios.



**Figura 14. Comportamiento estacional de la Extracción y Producción de Aguas en 2014**

Se observa que la extracción desde la vertiente 2 presenta el mismo comportamiento estacional que la producción, lo que se justifica ya que el agua desde esta vertiente se destina netamente a

elaboración de productos y un saneado de redes que abarca desde la misma vertiente hasta el manifold de distribución ubicado en la sala de filtro, y en donde además, en temporada de invierno, la demanda de aguas minerales disminuye notoriamente en comparación con la época de verano.

En base a lo anterior, y considerando que para el año 2014 se destinaron 80.809 [hl] en el saneado de redes nombrado anteriormente, se observa que existe una alta diferencia entre el agua producida y la extraída desde la vertiente 2, descontando la limpieza de redes, lo que se asume como pérdida directa de agua mineral.

## 2.2.2 Cálculo consumo de Agua en etapas con registros

Se reúnen los datos reales registrados diariamente por operarios durante el año 2014, desde instrumentos que registran la medición de caudal acumulado en estaciones específicas en que se necesite controlar y analizar su comportamiento, y en donde además se constata la correcta operación de estos equipos. Estos registros se encuentran en 3 estaciones (adicionales al de las vertientes mencionadas anteriormente).

### 2.2.2.1 Consumo hídrico de Agua Blanda

Los registros de agua procesada por las torres de ablandamiento de agua se sintetizan en la tabla n°6 en consumos mensuales para el año 2014, obteniendo al final un total anual y un promedio mensual de consumo en el periodo antes mencionado.

**Tabla 6. Síntesis de consumo de agua por las Torres de Ablandamiento de Aguas en 2014.**

Meses 2014	Consumo de agua [hl]
Enero	36.240
Febrero	37.000
Marzo	33.070
Abril	23.070
Mayo	27.450
Junio	23.500
Julio	27.540
Agosto	31.220
Septiembre	26.130
Octubre	32.670
Noviembre	32.100
Diciembre	38.990
<b>Promedio mensual</b>	<b>30.748</b>
<b>Total 2014</b>	<b>368.980</b>

### 2.2.2.2 Consumo hídrico Saneado CIP

Continuando con el procedimiento anterior, se obtienen los datos mostrados en la tabla n°7 para los consumos de agua realizados por concepto de saneamiento de equipos en las líneas de producción.

**Tabla 7. Síntesis de consumo de agua por Saneado de equipos y redes en 2014.**

Meses 2014	Consumo de agua [hl]
Enero	2.462
Febrero	2.176
Marzo	1.844
Abril	1.537
Mayo	2.022
Junio	1.778
Julio	1.751
Agosto	2.273
Septiembre	1.892
Octubre	2.650
Noviembre	5.806
Diciembre	11.337
<b>Total 2014</b>	<b>37.528</b>

### 2.2.2.3 Consumo hídrico en Caldera

Reiterando el procedimiento anterior, se obtiene la tabla n°8 con los consumos de agua llevados a cabo por la Caldera.

**Tabla 8. Síntesis de consumo de agua en Caldera durante el año 2014.**

Meses 2014	Consumo de agua [hl]
Enero	4.227
Febrero	3.461
Marzo	3.656
Abril	2.861
Mayo	2.380
Junio	2.545
Julio	2.014
Agosto	3.083
Septiembre	3.198
Octubre	2.851
Noviembre	5.248
Diciembre	4.839
<b>Promedio mensual</b>	<b>3.364</b>
<b>Total 2014</b>	<b>40.363</b>

Es importante destacar, que la caldera a carbón utilizada en Planta Cachantun, cuenta con trampas de vapor en sus puntos de utilización, en donde recircula el agua condensada recuperada a la alimentación fresca de agua a la caldera de vapor, por lo que los consumos de agua mostrados en la tabla n°8 manifiestan un caudal levemente mayor al real consumido por el generador de energía térmica.

### 2.2.3 Estimaciones de consumo hídrico en operaciones unitarias.

Existen operaciones que no poseen instrumentos de medición del caudal de agua que utilizan en su proceder. Para estos casos, se estudia el comportamiento y cotidianidad en su operación, para de esta forma estimar los consumos de agua que llevan a cabo durante una operación normal.

#### 2.2.3.1 Estimación Lubricación de Cintas Transportadoras

Para lubricar las Cintas Transportadoras empleadas en las líneas de producción de la Planta, se utiliza la lubricación por medio de boquillas, las cuales distribuyen un lubricante en solución durante un tiempo determinado, como se muestra en la figura n° 15.



**Figura 15. Aspersores de lubricación de Cintas Transportadoras.**

Los lubricantes utilizados en la planta son dos, Lubotraxx AR y Lubodrive TK. El lubricante Lubotraxx AR (desde ahora AR), es un lubricante en seco, una emulsión de silicona que se utiliza especialmente en sistemas de lubricación de cintas transportadoras de envases de bebida, provocando bajo coeficiente de roce y bajo consumo de agua, por lo que elimina el agua del piso en el área de producción, y se aplica con dilución previa, directamente a la cinta, siendo su concentración ideal de aplicación de un 2%.

Por su parte, el lubricante Lubodrive TK (desde ahora TK), es un lubricante concentrado sintético universal para la lubricación de cintas transportadoras con alta capacidad de limpieza. Su aplicación es independiente de la temperatura, dureza y calidad del agua, por lo que reduce la acumulación de suciedad en cualquier época del año. La concentración con que debe usarse el TK, depende de la carga y del estado de suciedad de la cinta, siendo la concentración ideal de trabajo del 0,12 – 0,14%.

La elección depende de factores como la velocidad y el desgaste que posea la cinta.

Para estimar la cantidad de agua que se consume en la lubricación de las cintas transportadoras, se comienza identificando la cantidad de aspersores existentes en cada línea de producción de la Planta. Luego, el tiempo que permanecen en funcionamiento por tiempo de descanso y finalmente medir el caudal que entregan estos aspersores con los lubricantes en solución.

Cabe mencionar, que en cada línea de producción, se distinguen zonas de lubricación, diferenciadas por encontrarse en distintas etapas del proceso de elaboración, por tener diferentes entradas de agua, distintos tiempos de funcionamiento y en algunos casos, diferentes caudales, mostrados en la tabla 9.

**Tabla 9. Datos obtenidos para la Lubricación de Cintas Transportadoras.**

Línea de Producción	Zona	Tipo Lubricante	# Aspersores	Tiempo activado [s]	Tiempo descanso [s]	Caudal estimado por aspersor [ml/s]
1	1	TK 0,12 - 0,14%	49	45	30	0,7
	2		10			
2	1	TK 0,12 - 0,14%	35	45	15	1,1
	2		34	60		
3	1	TK 0,12 - 0,14%	53	45	30	0,5
	2		8			1,0
	3		29		45	2,5
	4		60		30	1,0
4	1	AR 2,0%	44	20	40	1,2
	2		76		10800	
	3		40	3600		
	2		25			
	3		36			
	4		48			
	5		33	45		
<b>Bidones</b>	-	TK 0,12 - 0,14%	6	45	30	0,7

Es importante destacar, que para la línea 4, se realiza una limpieza general en sus cintas transportadoras una vez por semana durante 1 [h] al inicio de semana, ya que al utilizar el lubricante AR, este atrapa el polvo en suspensión presente en el ambiente, formando una capa de suciedad en las cintas, la cual debe ser removida por el lubricante TK, por lo que se adiciona esta condición a la estimación de consumo de agua.

Si bien, no todos estos parámetros son constantes, se realiza una aproximación lo más cercana a la realidad posible. De esta manera, tomando las jornadas de funcionamiento de las líneas de producción mostradas en la tabla n°10, se estima el consumo mensual de agua por concepto de lubricación de cintas en cada línea.

**Tabla 10. Jornadas de Funcionamiento de las Líneas de Producción registradas en 2014.**

	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Línea Bidones
<b>Enero</b>	71	85	8	83	50
<b>Febrero</b>	61	79	8	74	60
<b>Marzo</b>	63	72	7	72	28
<b>Abril</b>	17	64	4	57	46
<b>Mayo</b>	18	57	7	44	26
<b>Junio</b>	11	30	4	56	38
<b>Julio</b>	13	40	5	34	9
<b>Agosto</b>	18	52	6	66	27
<b>Septiembre</b>	20	66	5	69	44
<b>Octubre</b>	21	69	9	68	38
<b>Noviembre</b>	55	76	11	79	40
<b>Diciembre</b>	36	72	12	70	34

La estimación de caudales de los aspersores se lleva a cabo midiendo el volumen de solución que ingresa a una probeta de 25 [ml] en 10 [s] cronometrados para cada zona definida en la tabla 6. Así, la cantidad de agua presente en la solución debe ser calculada, sin dejar de lado el hecho en que hay ocasiones, en que la solución que ingresa a la probeta separa sus fases en un determinado momento entre agua y espuma, instante en el cual se mide el volumen de agua directamente, tal como lo muestra la figura n° 16.



**Figura 16. Medición del caudal de los aspersores en la Línea de Producción de Bidones.**

Es importante mencionar, que los cálculos a continuación, a modo de ejemplo se realizarán en base a los datos de funcionamiento de las líneas solo para el mes de Enero del año 2014.

- Cálculo Volumen de Agua en disolución.

Para calcular la cantidad de agua presente en la disolución acuosa de muestra, se utiliza su estequiometría, en donde se conoce el % de concentración del lubricante en solución que se



distribuye. De esta manera, en modo de ejemplo, se calcula el volumen de agua presente en una muestra de 25 [ml] con lubricante AR, en la cual se obtiene:

$$\%Volumen = \frac{\text{volumen [ml] de soluto}}{\text{volumen [ml] total disolución}} * 100$$

$$2\% = \frac{x \text{ [ml] de detergente}}{25 \text{ [ml]}} * 100$$

$$\text{Volumen detergente} = 0,5 \text{ [ml]}$$

Por lo que se obtiene que la mezcla contiene 0,5 [ml] de lubricante en 25 [ml] de solución, y por consiguiente:

$$\text{Volumen Total Disolución} = \text{Volumen detergente} + \text{Volumen Agua}$$

Reemplazando los valores obtenidos, se encuentra el volumen de agua presente en una muestra de 25 [ml] de solución:

$$25 \text{ [ml]} = 0,5 \text{ [ml]} + \text{Volumen Agua}$$

$$\boxed{\text{Volumen agua} = 24,5 \text{ [ml]}}$$

Lo que representa un **98%** de la disolución total. De esta manera, para cada línea se realiza el cálculo estimativo de su consumo de agua en la lubricación de cintas transportadoras.

- Cálculo Consumo mensual de Agua por línea de producción:

Línea n° 1:

Tomando en cuenta los datos presentados en la tabla 6 y 7 para la línea de producción 1, se estima la cantidad de agua empleada por la totalidad de aspersores sin diferenciar zonas, ya que ambas trabajan bajo los mismos parámetros de caudal, tipo de lubricante, tiempo activado y tiempo en reposo de sus boquillas. Además, al tomar la muestra se observa la separación de fases mencionada anteriormente, ya que el lubricante TK es más espumoso, por lo que el volumen de agua se mide directamente en la probeta.

Para este cálculo, se considera que 1 ciclo, equivale al tiempo activado, tiempo en que verte solución a las cintas (ON), y tiempo de descanso (OFF) en las boquillas de los aspersores, por lo que 1 ciclo = 75 [s]. De esta manera, se calcula la cantidad de veces que se repite este ciclo dentro del periodo de producción de 1[h]:

$$\frac{1 \text{ ciclo}}{75 \text{ [s]}} \cdot \frac{3600 \text{ [s]}}{1 \text{ [h]}} = 48 \left[ \text{ciclo/h} \right]$$

Por lo tanto, el tiempo que se encuentra activo el aspersor en un periodo de una hora, y por consiguiente en un turno de 7 [h] es de:

$$45 [s] * \frac{48 \text{ ciclos}}{h} = 2.160 \left[ \frac{s}{h} \right] * 7 \left[ \frac{h}{turno} \right] = 15.120 \left[ \frac{s}{turno} \right]$$

De esta manera, se valora el gasto de agua de la Línea 1 para el mes de Enero:

$$59 \text{ aspersores} * \frac{0,7 [ml/s]}{\text{aspersor}} * \frac{15.120 [s]}{\text{turno}} * \frac{71 \text{ turno}}{\text{mes}} * \frac{1 [Hl]}{100.000 [ml]} = 443,36 [Hl/mes]$$

Por consiguiente, se destinaron cerca de **443,36 [Hl/mes]** a la línea 1 por concepto de lubricación de cintas transportadoras durante el mes de Enero del 2014.

### Línea Bidones

Un ciclo completo de encendido y apagado en las boquillas de la línea de bidones tarda 75 [s] en llevarse a cabo, por lo tanto, en una primera instancia se calcula la cantidad de ciclos ejecutados en una hora:

$$\frac{1 \text{ ciclo}}{75 [s]} \cdot \frac{3600 [s]}{1 [h]} = 48 \text{ ciclos/hora}$$

Por lo que la cantidad de tiempo que permanecerá activo el aspersor en un turno de 7 [h], es de:

$$45 \left[ \frac{s}{\text{ciclo}} \right] * 48 \left[ \frac{\text{ciclos}}{h} \right] * 7[h] = 15.120 [s]$$

En consecuencia,

$$6 \text{ aspersores} \cdot \frac{0,7 [ml/s]}{\text{aspersor}} \cdot \frac{15.120 [s]}{\text{turno}} \cdot \frac{50 \text{ turnos}}{\text{mes}} \cdot \frac{1 [Hl]}{100.000 [ml]} = 31,75 [Hl/mes]$$

Así, la lubricación de cintas transportadora en la línea de producción de Bidones en Enero fue de **31,75 [Hl]**.

Línea n° 2:

En la línea de producción 2, se calcula el consumo de agua por zona, ya que poseen distinto tiempo de activación en sus aspersores. De esta manera:

- Zona 1:

$$1 \text{ ciclo} = 60 \text{ [s]}$$

$$\frac{1 \text{ ciclo}}{60 \text{ [s]}} \cdot \frac{3600 \text{ [s]}}{1 \text{ [h]}} = 60 \text{ [ciclo/h]}$$

$$45 \text{ [s]} * \frac{60 \text{ ciclos}}{h} = 2.700 \left[ \frac{s}{h} \right] * 7 \left[ \frac{h}{\text{turno}} \right] = 18.900 \left[ \frac{s}{\text{turno}} \right]$$

$$35 \text{ aspersores} * \frac{1,1 \text{ [ml/s]}}{\text{aspersor}} * \frac{18.900 \text{ [s]}}{\text{turno}} * \frac{85 \text{ turno}}{\text{mes}} * \frac{1 \text{ [Hl]}}{100.000 \text{ [ml]}} = 618,5 \text{ [Hl/mes]}$$

- Zona 2:

$$1 \text{ ciclo} = 75 \text{ [s]}$$

$$\frac{1 \text{ ciclo}}{75 \text{ [s]}} \cdot \frac{3600 \text{ [s]}}{1 \text{ [h]}} = 48 \text{ [ciclo/h]}$$

$$60 \text{ [s]} * \frac{48 \text{ ciclos}}{h} = 2.880 \left[ \frac{s}{h} \right] * 7 \left[ \frac{h}{\text{turno}} \right] = 20.160 \left[ \frac{s}{\text{turno}} \right]$$

$$34 \text{ aspersores} * \frac{1,1 \text{ [ml/s]}}{\text{aspersor}} * \frac{20.160 \text{ [s]}}{\text{turno}} * \frac{85 \text{ turno}}{\text{mes}} * \frac{1 \text{ [Hl]}}{100.000 \text{ [ml]}} = 640,9 \text{ [Hl/mes]}$$

Se observa, de igual manera que para la línea 1, la separación de fases entre el agua y la espuma formada, por lo que se estima que el total de agua destinada a la lubricación en la línea 2 durante el mes de Enero del año 2014 fue de **1.260 [Hl]**.

Línea n° 3:

En la Zona 1, 2 y 4 de esta línea de producción, se estipula que las boquillas funcionan 45 [s] y se desactivan durante 30 [s], por lo que este ciclo tarda 75 [s] en ocurrir por completo. De esta manera, se procede de la misma manera que en las líneas anteriores:

$$\frac{1 \text{ ciclo}}{75 [s]} \cdot \frac{3600 [s]}{1 [h]} = 48 \left[ \frac{\text{ciclo}}{h} \right]$$

Por lo que en 1 [h] el ciclo de encendido y apagado de los aspersores ocurre 48 veces, lo que significa que los aspersores, en un turno de 7[h], se encuentran activos durante:

$$45 [s] * 48 = 2160 [s] * 7 \left[ \frac{h}{\text{turno}} \right] = 15.120 \left[ \frac{s}{\text{turno}} \right]$$

Por lo tanto, considerando lo anterior y los datos mostrados en la tabla 6 y 7, se obtiene que el consumo de agua para el mes de Enero 2014 por los aspersores de las zonas 1, 2 y 4:

- Zona 1:

$$53 \text{ aspersores} * \frac{0,5 [ml/s]}{\text{aspersor}} * \frac{15.120 [s]}{\text{turno}} * \frac{8 \text{ turno}}{\text{mes}} * \frac{1 [HL]}{100.000 [ml]} = 32,1 \left[ \frac{HL}{\text{mes}} \right]$$

- Zona 2:

$$8 \text{ aspersores} * \frac{1,0 [ml/s]}{\text{aspersor}} * \frac{15.120 [s]}{\text{turno}} * \frac{8 \text{ turno}}{\text{mes}} * \frac{1 [HL]}{100.000 [ml]} = 9,7 \left[ \frac{HL}{\text{mes}} \right]$$

- Zona 4:

$$60 \text{ aspersores} * \frac{1,0 [ml/s]}{\text{aspersor}} * \frac{15.120 [s]}{\text{turno}} * \frac{8 \text{ turno}}{\text{mes}} * \frac{1 [HL]}{100.000 [ml]} = 72,6 \left[ \frac{HL}{\text{mes}} \right]$$

Realizando la misma analogía para la Zona 3:

$$\frac{1 \text{ ciclo}}{60 [s]} \cdot \frac{3600 [s]}{1 [h]} = 60 \left[ \frac{\text{ciclos}}{h} \right]$$

$$45 \left[ \frac{s}{\text{ciclo}} \right] * 60 \left[ \frac{\text{ciclos}}{h} \right] = 2700 [s/h] * 7 \left[ \frac{h}{\text{turno}} \right] = 18.900 \left[ \frac{s}{\text{turno}} \right]$$

Por lo tanto, el consumo de agua en la zona 3 es de:

$$29 \text{ aspersores} * \frac{2,5 [ml/s]}{\text{aspersor}} * \frac{18.900 [s]}{\text{turno}} * \frac{8 \text{ turno}}{\text{mes}} * \frac{1 [HL]}{100.000 [ml]} = 109,6 \left[ \frac{HL}{\text{mes}} \right]$$

Por consiguiente, el consumo de agua total por concepto de lubricación de cintas transportadoras en la línea 3 en Enero 2014 fue de **224 [HL]**.

Línea n° 4:

Como se explica al inicio de esta sección, en la línea 4 se realiza una limpieza de las cintas transportadoras una vez por semana, durante 1 [h], tiempo en el cual cambian el lubricante habitual de AR a TK, y mantienen activos los aspersores, por lo que se calcula el consumo de agua para la operación normal y para este caso.

En la operación bajo condiciones normales, se distinguen 3 zonas a lo largo de su cadena de producción, sectores en los cuales se opera con distintos tiempos de activación y desactivación en los aspersores. De este modo, se obtiene:

- Zona 1:

$$\frac{1 \text{ ciclo}}{60 [s]} \cdot \frac{3600 [s]}{1 [h]} = 60 [\text{ciclos/hora}]$$

$$20 \left[ \frac{s}{\text{ciclo}} \right] * 60 \left[ \frac{\text{ciclos}}{h} \right] * 7 \left[ \frac{h}{\text{turno}} \right] = 8.400 [s/\text{ciclo}]$$

Considerando además, que la muestra tomada para el cálculo del caudal es de 12 [ml] en 10 [s], se mantiene sin separación de fases, por lo que se estima que el volumen de agua presente es:

$$2\% = \frac{\text{volumen lubricante [ml]}}{12 [ml]} \cdot 100$$

$$\text{Volumen lubricante} = 0,24 [ml]$$

$$\text{Volumen Agua} = 12 [ml] - 0,24 [ml] = 11,76[ml]$$

Por lo tanto, existen 11,76 [ml] en la muestra en los 10 [s], siendo el caudal de agua de 1,176 [ml/s]. Así:

$$44 \text{ aspersores} \cdot \frac{1,176 [ml/s]}{\text{aspersor}} \cdot \frac{8.400 [s]}{\text{turno}} \cdot \frac{83 \text{ turnos}}{\text{mes}} \cdot \frac{1 [HL]}{100.000 [ml]} = 360,8 [HL/mes]$$

- Zona 2:

$$\frac{1 \text{ ciclo}}{10820 [s]} \cdot \frac{3600 [s]}{1 [h]} = 0,33 \text{ ciclos/hora}$$

$$20 \left[ \frac{s}{\text{ciclo}} \right] * 0,33 \left[ \frac{\text{ciclos}}{h} \right] * 7[h] = 46,6 [s]$$

$$76 \text{ aspersores} \cdot \frac{1,176 [ml/s]}{\text{aspersor}} \cdot \frac{46,6 [s]}{\text{turno}} \cdot \frac{83 \text{ turnos}}{\text{mes}} \cdot \frac{1 [HL]}{100.000 [ml]} = 3,5 [HL/mes]$$

- Zona 3:

$$\frac{1 \text{ ciclo}}{3660 [s]} \cdot \frac{3600 [s]}{1 [h]} = 0,98 \text{ ciclos/hora}$$

$$60 \left[ \frac{s}{ciclo} \right] * 0,98 \left[ \frac{ciclos}{h} \right] * 7 \left[ \frac{h}{turno} \right] = 413,1 [s/turno]$$

$$40 \text{ aspersores} \cdot \frac{1,176 [ml/s]}{\text{aspersor}} \cdot \frac{413,1 [s]}{\text{turno}} \cdot \frac{83 \text{ turnos}}{\text{mes}} \cdot \frac{1 [HL]}{100.000 [ml]} = 16,1 [HL/mes]$$

Además, se calcula el gasto de agua en el periodo de limpieza de las cintas:

- Zona 1:

$$44 \text{ aspersores} \cdot \frac{1,2 [ml/s]}{\text{aspersor}} \cdot \frac{3.600 [s]}{\text{semana}} \cdot \frac{4 \text{ semanas}}{\text{mes}} \cdot \frac{1 [HL]}{100.000 [ml]} = 7,6 [HL/mes]$$

- Zona 2:

$$76 \text{ aspersores} \cdot \frac{1,2 [ml/s]}{\text{aspersor}} \cdot \frac{3.600 [s]}{\text{semana}} \cdot \frac{4 \text{ semanas}}{\text{mes}} \cdot \frac{1 [HL]}{100.000 [ml]} = 13,13 [HL/mes]$$

- Zona 3:

$$40 \text{ aspersores} \cdot \frac{1,2 [ml/s]}{\text{aspersor}} \cdot \frac{3.600 [s]}{\text{semana}} \cdot \frac{4 \text{ semanas}}{\text{mes}} \cdot \frac{1 [HL]}{100.000 [ml]} = 6,9 [HL/mes]$$

Por lo tanto, el gasto de agua en la limpieza de las cintas transportadoras es de 27,63 [HL/mes]

Por consiguiente, el consumo de agua en la línea 4 por concepto de lubricación de las cintas transportadoras en Enero fue de **408 [HI]**.

Reuniendo los datos obtenidos para las líneas de producción en sus consumos de agua por concepto de lubricación de cintas, considerando todos los meses del año 2014, se elabora la tabla 11.

**Tabla 11. Consumo de Agua por Lubricación de Cintas Transportadora en 2014.**

Línea de Producción	Consumo de Agua [HI]
1	2.523
2	11.290
3	2.014
4	3.868
<b>Bidones</b>	<b>279</b>
<b>TOTAL</b>	<b>19.975</b>

### 2.2.3.2 Estimación Lavado de Pisos

Este segmento comprende los lavados de pisos y aseo que se realizan dentro de la Planta Cachantun, incluyendo la limpieza en salas de preparación y de trabajo, la limpieza en las cercanías de las vertientes, en la zona húmeda (lugar en donde se realiza el llenado de las botellas con el producto, por lo que debe permanecer en inocuidad todo el tiempo), y la limpieza en las zonas secas, las cuales son los sectores que involucran a las líneas de producción fuera de las zonas húmedas antes mencionadas.

Para realizar la estimación de consumo de agua en esta sección, se realiza un estudio a los implementos que se utilizan para realizar los lavados, con su rutina de operación, y la cantidad de agua que emplean en su proceder. Además, se toma en cuenta el lavado de basureros por ser un consumo considerable del recurso hídrico. Así, se obtienen los datos mostrados en la tabla 12.

**Tabla 12. Levantamiento de información sobre el lavado de pisos y aseo en Planta Cachantun.**

Implemento	Lugares de uso	Consumo de Agua	Veces que se utiliza por día	Veces que se utiliza por semana
<b>Vacuolavadora</b>	Pasillos Línea 1, 2, 3 y 4	5 [l] por línea	1 [turno/día]	6 [días/semana]
<b>Carro industrial estrujador de mopa</b>	5 líneas, baños, 2 Salas +, Sala Soplado	5 – 10 [l] cada carro	3 [turno/día]	6 [días/semana]
<b>Lavado de Basureros (30)</b>	Basureros de reciclaje	Manguera 1 [l/s]	30 [s/basurero]	1 [día/semana]
	Zona húmeda Línea 1, 2, 3, 4 y bidones, Salas +	1 [l/s]	2 [turnos/día]	6 [días/semana]
	Línea 5	0,385 [l/s]	1,5 [h/día]	3 [días/semana]
<b>Lavado con Mangueras</b>	Sala Máquina, Caldera, Planta de Soda Cáustica, Sala filtro, Vertiente 2	1 [l/s]	1 [turno/día]	1 [día/semana]
<b>Aspersor de Mano</b>	Usos generales	1 [l] cada aspersor	2 [turnos/día]	6 [días/semana]

Con los datos obtenidos, se procede a calcular la cantidad de agua que se consume por sección.

### 1. Vacuolavadora

Se valora que esta máquina consume unos 5 [l] por cada línea en que se utiliza, por lo tanto, en las cuatro líneas consume un total de 20 [l] por vez que se utiliza. Así, para el consumo del mes:

$$\frac{20 \text{ l}}{\text{turno}} \cdot \frac{1 \text{ turno}}{\text{día}} \cdot \frac{25 \text{ días}}{\text{mes}} \cdot \frac{1 \text{ Hl}}{100 \text{ l}} = 5 \text{ [Hl/mes]}$$

### 2. Carro industrial estrujador de mopa

El volumen de agua que se utiliza en el carro es de unos 5 – 10 [l], en este caso se considerarán 7 [l] para realizar los cálculos, ya que se debe tomar en cuenta que al terminar de usarlo, se agregan unos litros nuevamente para dejar la mopa remojando y en proceso de limpieza.

Por lo tanto, y considerando que se utiliza un carro en cada una de las 5 líneas de producción, uno en la Sala + (elaboración), otro más en la sala de soplado, en pasillos y 2 carros adicionales para los baños ubicados en la planta, se estima el consumo mensual en este instrumento de la siguiente manera:

$$\frac{7 \text{ [l]}}{\text{carro}} \cdot \frac{10 \text{ carros}}{\text{turno}} \cdot \frac{3 \text{ turnos}}{\text{día}} \cdot \frac{25 \text{ días}}{\text{mes}} \cdot \frac{1 \text{ Hl}}{100 \text{ l}} = 52,5 \text{ [Hl/mes]}$$

### 3. Lavado con Mangueras

El uso habitual de mangueras, es en la Sala + y en las zonas húmedas de las líneas de producción, se moja y remueve la suciedad con agua a presión durante unos 3 a 5 [min].

En este caso, se considerará que la manguera actúa durante 5 [min], aunque en ocasiones sea durante un tiempo menor, ya que este elemento se puede utilizar en cualquier momento, sin ningún tipo de frecuencia, por lo que para tratar de considerar este consumo se asume un tiempo de de 5 [min] de aplicación. Así, se estima el consumo de la siguiente manera:

$$\frac{1 \text{ l}}{\text{s}} \cdot \frac{5 \text{ min}}{\text{zona}} \cdot \frac{6 \text{ zonas}}{\text{turno}} \cdot \frac{2 \text{ turnos}}{\text{día}} \cdot \frac{25 \text{ días}}{\text{mes}} \cdot \frac{1 \text{ Hl}}{100 \text{ l}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 900 \text{ [Hl/mes]}$$

A su vez, se toman en cuenta sectores en que se realiza un lavado con la manguera una vez por semana. Estos sectores incluyen a la Sala de máquinas, Sala de Caldera, Planta de Soda, Sala de filtro y la Sala de la Vertiente n°2 y se utiliza un carro con detergente en solución para remover suciedad e higienizar en cada una de estas zonas, para luego quitar esta solución con agua desde la manguera durante unos 5 [min] aproximadamente. Así, el consumo de agua es:



Consumo de agua por medio del carro industrial:

$$\frac{7 \text{ l}}{\text{carro}} \cdot \frac{1 \text{ carro}}{\text{zona}} \cdot \frac{5 \text{ zonas}}{\text{turno}} \cdot \frac{1 \text{ turno}}{\text{semana}} \cdot \frac{4 \text{ semanas}}{\text{mes}} \cdot \frac{1 \text{ Hl}}{100 \text{ l}} = 1,4 \text{ [Hl/mes]}$$

Consumo de agua por uso de la manguera:

$$\frac{1 \text{ l}}{\text{s}} \cdot \frac{5 \text{ min}}{\text{zona}} \cdot \frac{5 \text{ zonas}}{\text{turno}} \cdot \frac{1 \text{ turno}}{\text{semana}} \cdot \frac{4 \text{ semanas}}{\text{mes}} \cdot \frac{1 \text{ Hl}}{100 \text{ l}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 60 \text{ [Hl/mes]}$$

Total consumo de agua por uso de mangueras = 961,4 [Hl/mes]

#### 4. Lavado de Basureros

Si bien este segmento no corresponde a un instrumento de limpieza como se busca particularizar en un comienzo, se consume una porción de agua considerable en su proceder, por lo que se toma en cuenta.

Se evalúa que existen alrededor de 60 basureros plásticos en la Planta, los cuales inicialmente son desinfectados por una solución de agua y detergente preparada en dos carros industriales, y luego se remueve por agua a presión proveniente de mangueras, durante un tiempo cercano a los 30 [s] por basurero.

Así, se realiza el siguiente cálculo en base a los datos obtenidos, para el consumo de agua mensual en esta actividad.

Consumo de agua por utilización del carro:

$$\frac{7 \text{ l}}{\text{carro}} \cdot \frac{2 \text{ carros}}{\text{semana}} \cdot \frac{4 \text{ semanas}}{\text{mes}} \cdot \frac{1 \text{ Hl}}{100 \text{ l}} = 0,56 \text{ [Hl/mes]}$$

Consumo de agua por las mangueras:

$$\frac{1 \text{ l}}{\text{s}} \cdot \frac{30 \text{ s}}{\text{basurero}} \cdot \frac{60 \text{ basureros}}{\text{semana}} \cdot \frac{4 \text{ semanas}}{\text{mes}} \cdot \frac{1 \text{ Hl}}{100 \text{ l}} = 72 \text{ [Hl/mes]}$$

Total consumo por lavado de basureros = 72,56 [Hl/mes]

#### 5. Aspersor de Mano

El aspersor de mano tiene una capacidad de 1 [l] de agua en solución en su interior, y se utiliza mayormente en el lavado de ventanas, mesas y cerámicas.

Se estima que se utilizan 5 aspersores en un turno, pero sin utilizar la totalidad de su contenido, por lo que se considerará un total de 3 aspersores utilizados por turno. De esta manera, el consumo es:

$$\frac{1 \text{ l}}{\text{aspersor}} \cdot \frac{3 \text{ aspersores}}{\text{turno}} \cdot \frac{2 \text{ turnos}}{\text{día}} \cdot \frac{25 \text{ días}}{\text{mes}} \cdot \frac{1 \text{ Hl}}{100 \text{ l}} = 1,5 \text{ [Hl/mes]}$$

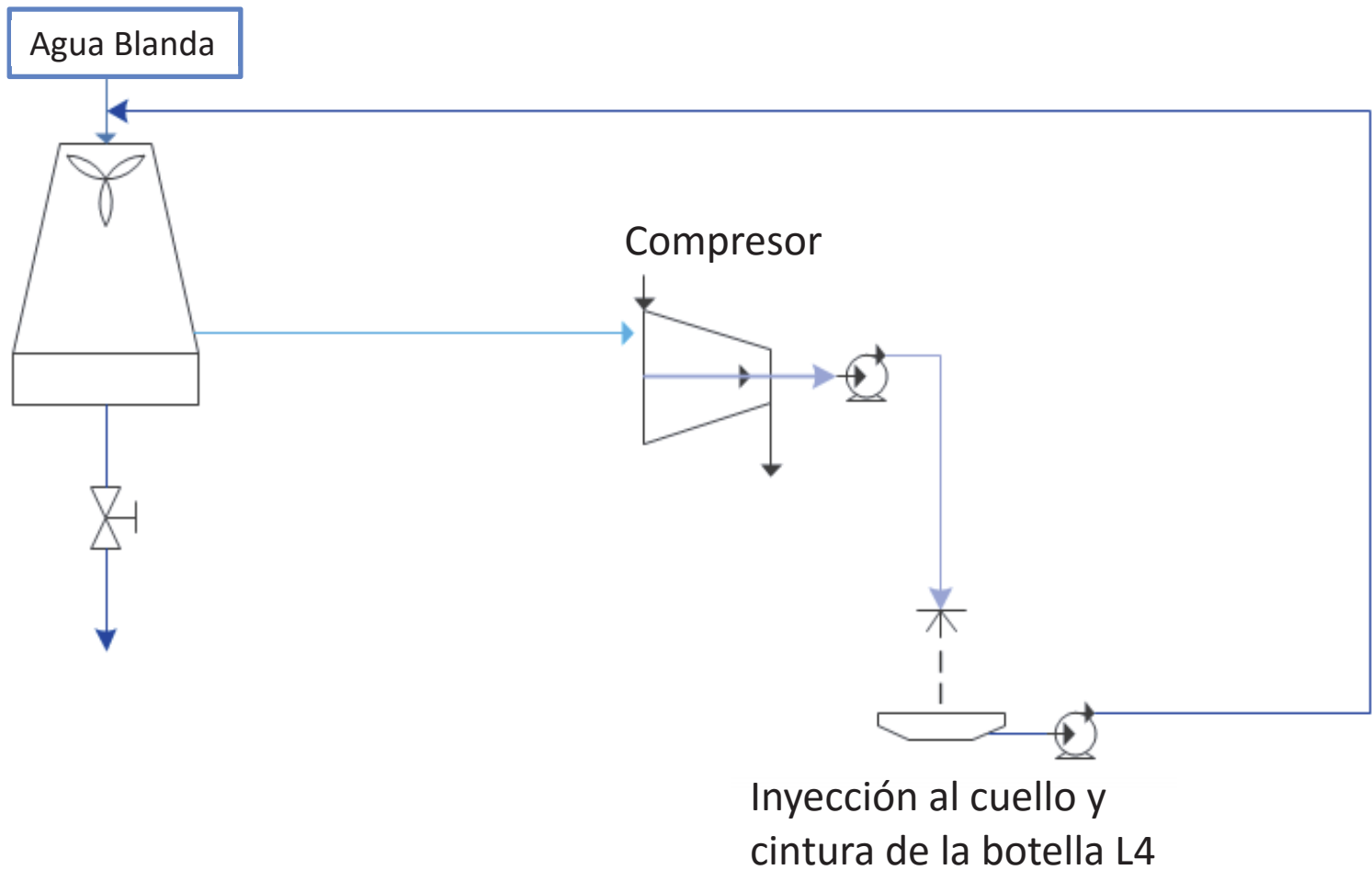
En consecuencia, el consumo total de agua realiza por el lavado de pisos, se resume en la siguiente tabla n°13.

**Tabla 13. Consumo Total de Agua mensual por concepto de Aseo y Lavado de Pisos.**

<b>Implemento</b>	<b>Consumo Agua [Hl/mes]</b>
<b>Vacuolavadora</b>	<b>5</b>
<b>Carro industrial estrujador mopa</b>	<b>52,5</b>
<b>Lavado de Basureros</b>	<b>72,56</b>
<b>Lavado con Mangueras</b>	<b>961,4</b>
<b>Aspersor de Mano</b>	<b>1,5</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1093</b>

### 2.2.3.3 Estimación Torre de Enfriamiento

La torre de enfriamiento utilizada por la Planta durante el año 2014, se encuentra a cargo de enviar agua fría a un compresor y luego a la máquina Sopladora ubicada en la línea de producción 4, en donde se inyecta agua fría al cuello y a la cintura de la botella recién formada desde su preforma, en busca de disminuir su temperatura. Luego, esta agua (ahora con una mayor temperatura) es colectada y recirculada a la torre enfriadora, formando el circuito mostrado en la figura n°17.



### Figura 17. Circuito de Operación Torre Enfriadora Línea N° 4.

Periódicamente se mide la conductividad presente en el agua dentro de la Torre Enfriadora, ya que ante cualquier irregularidad, se abre en su totalidad la llave de paso ubicada bajo la torre, para que de esta manera, ingrese agua blanda directa y se normalice el parámetro antes mencionado. Por lo que para estimar el consumo de agua que se lleva a cabo en su proceder, se mide el caudal de la llave antes mencionada bajo operación normal. De esta manera y según la cantidad de horas de trabajo de la línea n°4, se obtienen los datos mostrados en la tabla n°14.

**Tabla 14. Consumo de Agua estimado para Torre de Enfriamiento durante el año 2014.**

Meses 2014	Consumo de agua [hl]
Enero	951
Febrero	848
Marzo	825
Abril	653
Mayo	504
Junio	641
Julio	389
Agosto	756
Septiembre	790
Octubre	779
Noviembre	905
Diciembre	802
<b>Promedio mensual</b>	<b>737</b>
<b>Total 2014</b>	<b>8.843</b>

#### 2.2.3.4 Estimación Estanque Pulmón Rinser y Agua de Servicios

El estanque Pulmón *Rinser*, como se especifica en el punto 2.1.2.2 de este informe, es un estanque acumulador de agua con una pequeña concentración de cloro en ella, que provee un flujo constante a los estanques *rinser* de las líneas de producción 1, 2 y 4 para el lavado de botellas PET por medio de inyección de agua a presión en ellas. Posterior a este proceso de enjuague, el agua se envía a piso y luego al drenaje.

Como estos procesos no cuentan con un instrumento de medición de la cantidad de agua que utilizan en su proceder, se estima el caudal total empleado durante el 2014 realizando, en una primera instancia, un cálculo a la distribución porcentual del agua que se destina a estos puntos, con datos reales obtenidos durante los meses de diciembre 2014 y enero 2015, periodo en el cual se instalaron instrumentos de medición de caudal en ambos sectores, mostrados en la tabla n°15 y n°16.

**Tabla 15. Datos de consumo de Agua desde la Vertiente 1**

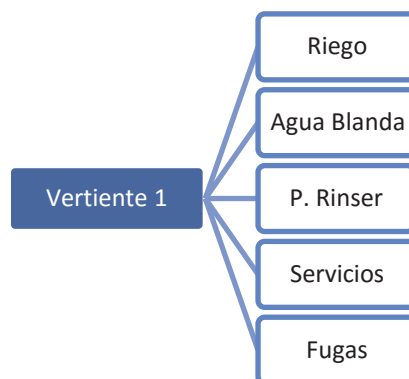
	Diciembre 2014	Enero 2015
<b>Vertiente 1</b>	108.520	115.430
<b>Riego</b>	13.160	24.720
<b>Agua Blanda</b>	38.990	34.200
<b>Pulmón Rinser</b>	31.090	34.128

<b>Servicios</b>	17.775	19.490
<b>Fugas</b>	7.485	2.892

**Tabla 16. Porcentaje de Distribución de agua hacia Estanque Pulmón *Rinser* y Servicios.**

	<b>Diciembre 2014</b>	<b>Enero 2015</b>	<b>Promedio</b>
<b>Pulmón <i>Rinser</i></b>	55%	60%	58%
<b>Servicios</b>	32%	34%	33%
<b>Fugas</b>	13%	5%	9%

Con estos datos, y en base al diagrama de flujo mostrado anteriormente en la figura n° 8, se realiza un balance de masa al agua de la vertiente 1, figura n° 18.



**Figura 18. Diagrama de Flujo al Agua desde Vertiente 1.**

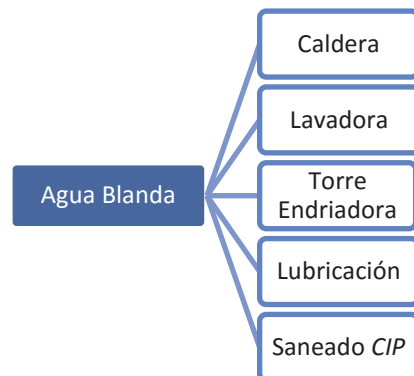
De esta manera, se reúnen los datos obtenidos por consumo de agua durante el 2014 por riego de jardines, por la vertiente 1 y por las Torres de Ablandamiento de agua. La diferencia de agua de la vertiente 1 ( $\Delta$ ) se distribuye entre el Estanque *Rinser*, servicios de baños y casino y fugas según el porcentaje mostrado en la tabla n°16, obteniendo así, la tabla n°17.

**Tabla 17. Estimación de Consumo de Agua [HI] al Estanque Pulmón *Rinser* y Servicios según distribución porcentual durante el año 2014.**

	<b>Vertiente 1</b>	<b>Riego</b>	<b>Agua Blanda</b>	<b><math>\Delta</math></b>	<b>TK <i>Rinser</i></b>	<b>Servicios</b>	<b>Fugas</b>
<b>Enero</b>	128.980	6.760	36.240	<b>90.090</b>	49.868	28.373	7.738
<b>Febrero</b>	130.968	14.100	37.000	<b>71.440</b>	46.323	26.356	7.188
<b>Marzo</b>	108.210	13.246	33.070	<b>62.244</b>	35.898	20.425	5.570
<b>Abril</b>	82.040	11.180	23.070	<b>47.610</b>	27.718	15.771	4.301
<b>Mayo</b>	71.730	1.190	27.450	<b>45.690</b>	24.992	14.220	3.878
<b>Junio</b>	70.849	650	23.500	<b>67.490</b>	27.085	15.411	4.203
<b>Julio</b>	63.990	1.590	27.540	<b>43.000</b>	20.219	11.504	3.137
<b>Agosto</b>	88.030	6.880	31.220	<b>43.630</b>	28.959	16.477	4.494
<b>Septiembre</b>	75.540	1.460	26.130	<b>48.000</b>	27.811	15.824	4.315
<b>Octubre</b>	85.430	5.720	32.670	<b>51.740</b>	27.283	15.523	4.234
<b>Noviembre</b>	109.810	25.360	32.100	<b>47.840</b>	30.363	17.276	4.712
<b>Diciembre</b>	108.520	13.160	38.990	<b>56.350</b>	32.695	18.602	5.073
<b>Total</b>	1.124.097	101.296	368.980	<b>675.124</b>	379.214	215.762	58.843

### 2.2.3.5 Estimación Lavadora de Botellas en Línea de producción N° 3

Desarrollando el mismo procedimiento anterior realizado para estimar el consumo de agua del estanque pulmón *rinser* y de los servicios de baño y casino, se lleva a cabo el balance de masa mostrado en la figura n° 19.



**Figura 199. Diagrama de Flujo al uso de Agua Blanda en Planta Cachantun.**

Se despeja el consumo teórico llevado a cabo por la lavadora de botellas de vidrio de la línea 3, obteniendo así la tabla n°18.

**Tabla 18. Estimación de Consumo de Agua en Lavadora Línea 3 durante el año 2014 en [hl].**

	Agua Blanda	Caldera	Torre Enf.	Saneado CIP	Lubricación	Lavadora
<b>Enero</b>	36.240	4.227	815	2.462	2.330	26.406
<b>Febrero</b>	37.000	3.461	727	2.176	2.144	28.492
<b>Marzo</b>	33.070	3.656	707	1.844	1.999	24.864
<b>Abril</b>	23.070	2.861	560	1.537	1.466	16.646
<b>Mayo</b>	27.450	2.380	432	2.022	1.367	21.249
<b>Junio</b>	23.500	2.545	550	1.778	915	17.712
<b>Julio</b>	27.540	2.014	334	1.751	980	22.461
<b>Agosto</b>	31.220	3.083	648	2.273	1.371	23.845
<b>Septiembre</b>	26.130	3.198	677	1.892	1.592	18.771
<b>Octubre</b>	32.670	2.851	668	2.650	1.728	24.773
<b>Noviembre</b>	32.100	5.248	776	5.806	2.142	18.128
<b>Diciembre</b>	38.990	4.839	687	11.337	1.943	20.184
<b>Total</b>	368.980	40.363	7.581	37.528	19.977	263.531

En base a estos datos obtenidos, se obtiene que la lavadora consume alrededor del 70% del total de agua blanda durante el 2014, con un total de **263.531 [hl]**.

# Capítulo III: ANÁLISIS DE PUNTOS CON FACTIBILIDAD DE REUTILIZACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO.

## **3.1 Selección y especificación de procesos con factibilidad de utilizar agua industrial**

Los parámetros utilizados para escoger el proceso del cual se reutilizará el agua industrial, se basan en una primera instancia, en la cantidad de agua que emplea en su proceder, luego la periodicidad con que opera y posteriormente, la calidad de agua que entrega posterior a su uso.

### **3.1.1 Proceso con mayor consumo de agua desde Vertiente 1.**

Reuniendo los datos obtenidos en el capítulo anterior sobre el consumo de agua en las operaciones unitarias principales desde la vertiente 1, se obtiene la siguiente tabla:

**Tabla 19. Resumen consumo de Agua en Operaciones Unitarias durante el año 2014.**

	<b>Consumo Total Agua 2014 [hl]</b>	<b>Distribución</b>
<b>Riego</b>	101.296	9%



Servicios	215.761	19%
Estanque Pulmón <i>Rinser</i>	379.216	34%
Agua Blanda	368.980	33%
Fugas	58.844	5%
<b>Total</b>	<b>1.124.097</b>	<b>100%</b>

Ilustrando esta asignación de consumos de agua en las distintas operaciones mencionadas, se obtiene el gráfico mostrado en la figura n° 20.

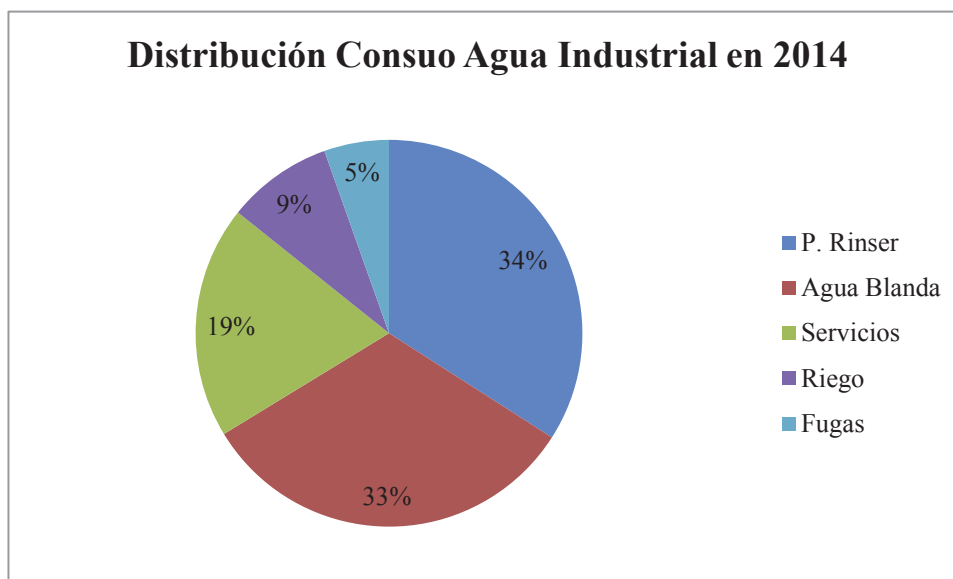
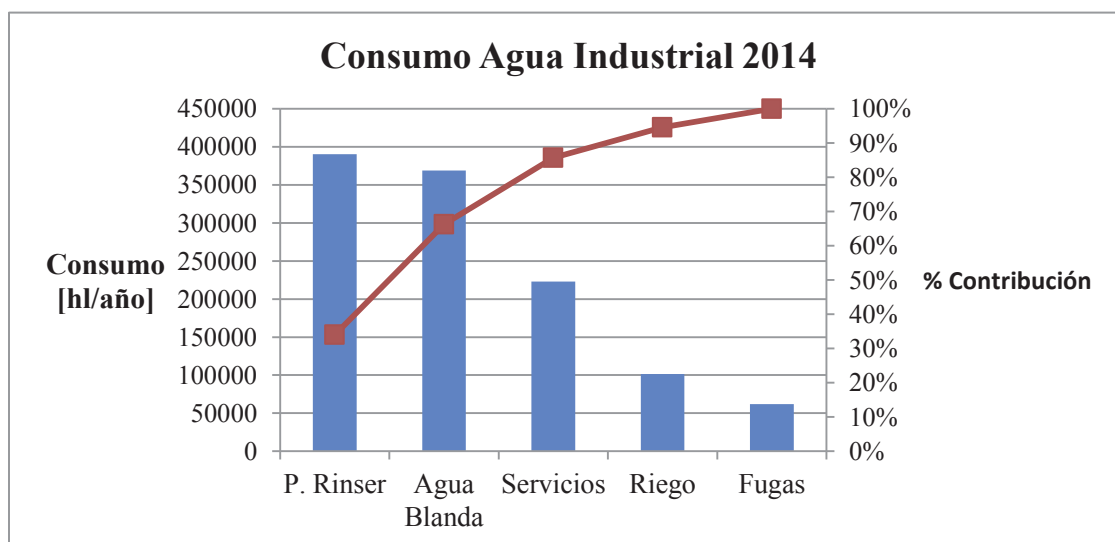


Figura 20. Distribución porcentual al consumo de agua industrial desde Vertiente 1 en 2014.

En base a estas cantidades, se realiza un diagrama de Pareto mostrado en la figura n° 21.

Este diagrama manifiesta, que la prioridad de intervención en este grupo de factores que influyen en el mismo efecto, lo tiene el consumo de agua por parte del Estanque Pulmón *Rinser*, ya que sobrepasa al consumo de Agua Blanda, Servicios de Baños y Casino y Riego en la Planta.



En donde además, se muestra otro factor que contribuye de forma significativa en el gasto del recurso hídrico, los procesos que emplean Agua Blanda en su operación (Caldera, Torre de Enfriamiento, Lavadora de botellas de vidrio, Lubricación de cintas transportadoras y Saneados CIP), lo cual se ilustra en el gráfico mostrado en la figura n° 22.

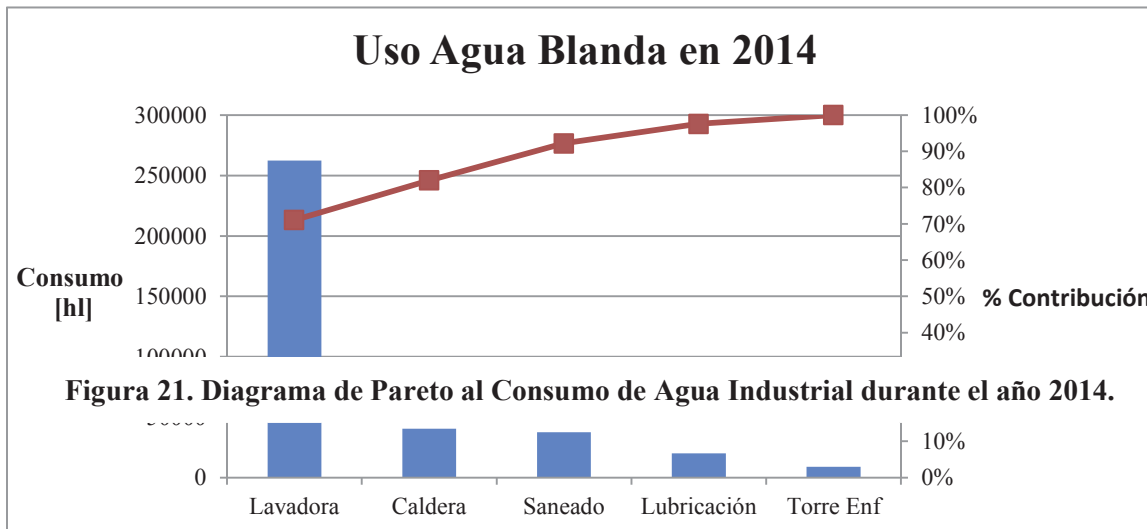
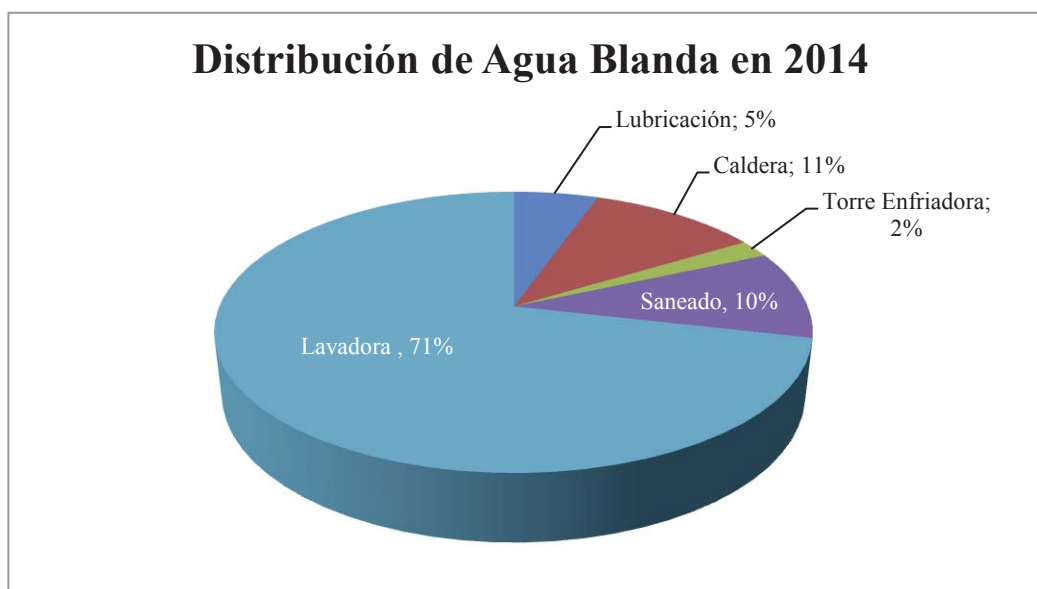


Figura 21. Diagrama de Pareto al Consumo de Agua Industrial durante el año 2014.

En el diagrama mostrado en la figura n° 22, queda expuesto que la lavadora de botellas de vidrio consume la mayor parte del agua blanda en la planta, la cual se distribuye de la forma ilustrada en la figura n° 23.



Sin embargo, a pesar de describir que la lavadora de botellas de vidrio también contribuye de forma significativa en el consumo de agua, el proceso de lavador de botellas PET lo supera, por lo que se descarta la lavadora de la línea n° 3 y otros procesos estudiados, para continuar con los Equipos *rinser* de las líneas de producción 1, 2 y 4.

### 3.1.2 Análisis al proceso seleccionado

Detallando el uso del agua desde el Estanque Pulmón *Rinser*, se conoce que se emplea en las líneas de producción 1, 2 y 4 en donde se conoce de forma teórica, el caudal que debe entregar en sus distintas desembocaduras, mostradas en la tabla n° 20.

**Tabla 20. Información teórica, según fabricante, de Equipos *Rinser* en líneas de producción.**

Línea de Producción	Caudal teórico [m <sup>3</sup> /h]
---------------------	------------------------------------

**Figura 23. Distribución al consumo de Agua Blanda en Planta Cachantun durante el año 2014.**

L-1	3,6
L-2	3,9
L-4	3,9

Con esta información, y los datos obtenidos en cuanto a tiempo y frecuencia de funcionamiento de las líneas (tabla n°10), se estima la cantidad de agua que se utiliza en cada línea de producción por concepto de lavado de botellas PET durante el año 2014.

#### 3.1.2.1 Equipo *Rinser* Línea de Producción n° 1

De esta manera, a modo de ejemplo, considerando turnos de trabajo de 7 [h], se exhibe el cálculo realizado para en el mes de Enero de 2014, obteniendo así:

$$\frac{3,6 \text{ m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{7 \text{ h}}{\text{turno}} \cdot \frac{71 \text{ turno}}{\text{mes}} \cdot \frac{10 \text{ Hl}}{1 \text{ m}^3} = 17.892 \text{ [hl/mes]}$$

Llevando este cálculo al resto de meses del año, el consumo estimado de agua por concepto de lavado de Botellas PET, por parte de la línea n° 1, se muestra en la tabla n° 21:

**Tabla 21. Consumo de Agua por Lavado de Botellas PET en Línea de Producción 1 en 2014.**

	Consumo de Agua [hl]
Enero	17.892
Febrero	15.372
Marzo	15.876
Abril	4.284
Mayo	4.536
Junio	2.772

<b>Julio</b>	3.276
<b>Agosto</b>	4.536
<b>Septiembre</b>	5.040
<b>Octubre</b>	5.292
<b>Noviembre</b>	13.860
<b>Diciembre</b>	9.072

Obteniendo un total de **101.808 [hl]** consumidos durante el 2014.

### **3.1.2.2 Equipo Rinser Línea de Producción n° 2**

Realizando el mismo procedimiento para la línea de producción n° 1, se obtienen los consumos de agua llevados a cabo por la línea n° 2 durante el año 2014, mostrados en la tabla n° 22.

**Tabla 22. Consumo de Agua por Lavado de Botellas PET en Línea de Producción 2 en 2014.**

	<b>Consumo de Agua [hl]</b>
<b>Enero</b>	21.420
<b>Febrero</b>	19.908
<b>Marzo</b>	18.144
<b>Abril</b>	16.128
<b>Mayo</b>	14.364
<b>Junio</b>	7.560
<b>Julio</b>	10.080
<b>Agosto</b>	13.104
<b>Septiembre</b>	16.632
<b>Octubre</b>	17.388
<b>Noviembre</b>	19.152
<b>Diciembre</b>	18.144

Alcanzando un consumo de **192.024 [hl]** durante el 2014

### **3.1.2.3 Equipo Rinser Línea de Producción n° 4**

Continuando con el procedimiento para el cálculo teórico del consumo de agua por parte del lavado de botellas PET, ahora para la línea n° 4, se elabora la tabla n° 23.

**Tabla 23. Consumo de Agua por Lavado de Botellas PET en Línea de Producción 4 en 2014.**

	<b>Consumo de Agua [hl]</b>
<b>Enero</b>	22.659
<b>Febrero</b>	20.202
<b>Marzo</b>	19.656
<b>Abril</b>	15.561
<b>Mayo</b>	12.012
<b>Junio</b>	15.288
<b>Julio</b>	9.282
<b>Agosto</b>	18.018
<b>Septiembre</b>	18.837
<b>Octubre</b>	18.564
<b>Noviembre</b>	21.567
<b>Diciembre</b>	19.110

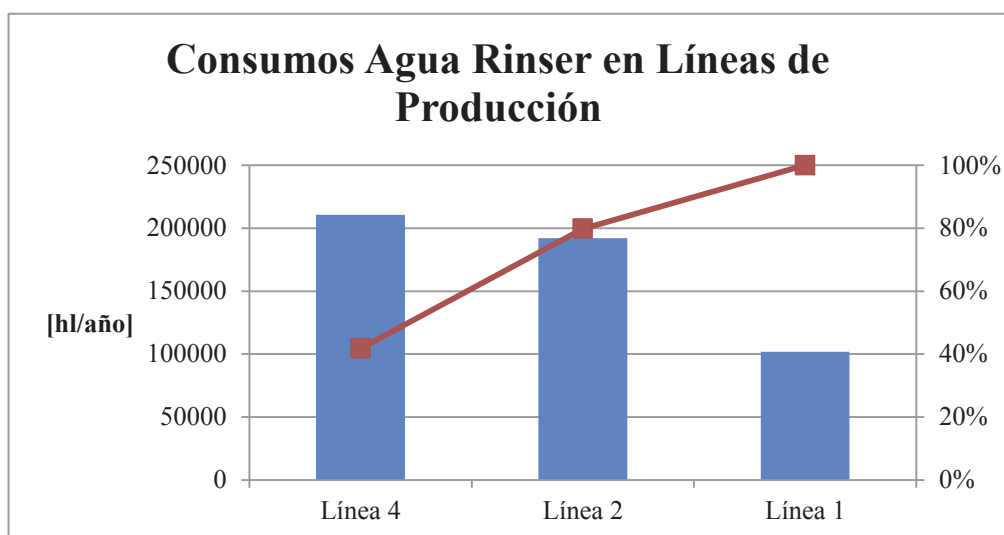
Alcanzando un consumo de **210.756 [hl]** durante el 2014

Sintetizando los resultados obtenidos, se elabora la tabla n° 24, en donde además se muestra el porcentaje que se le atribuye a cada línea por gasto de agua en el año 2014.

**Tabla 24. Consumo Teórico de Agua de Enjuague de Botellas PET por línea, en 2014.**

Línea de Producción	Consumo Teórico 2014 [hl]	Distribución
L-1	101.808	20%
L-2	192.024	38%
L-4	210.756	42%

Obteniendo así, el Diagrama de Pareto ilustrado en el gráfico mostrado en la figura n° 24.



**Figura 24. Diagrama de Pareto al Consumo de Agua desde Estanque Pulmón Rinser en 2014.**

El cual muestra que la línea de producción n° 4 es la que mayor contribución realiza sobre el efecto a estudiar, lo que rectifica el cálculo teórico realizado en el punto 2.2.3.4 del capítulo anterior (razón por la cual se realizó este cálculo), convirtiéndose en el enfoque principal de análisis en el proyecto de reutilización de agua industrial en Planta Cachantun, obteniendo un total de consumo teórico de aproximadamente 210.000 [hl] de agua que podrían ser reutilizados en otros procesos involucrados, lo que cubre cerca del 40% del agua total extraída desde la Vertiente 1 durante este periodo de tiempo.

### 3.2 Estudio al agua problema

El conocimiento de las características físicas y químicas de las aguas a reutilizar es esencial para el proyecto, averiguar en qué punto se puede emplear y, en caso que sea necesario, a qué tipo de

tratamiento se debe someter posterior a su uso. El agua industrial a estudiar, no acontece una disminución notoria en su calidad original precedente al uso industrial que se le atribuye, razón por la cual, en base a esto, se somete a unos análisis específicos, posteriormente descritos, los cuales presentan mayor influencia para un subsiguiente uso adecuado de ésta.

El agua que se envía hacia los Equipos *Rinser* en las líneas para el enjuague de botellas PET, pueden tener dos tipos de soluciones según si la planta se encuentra elaborando aguas gasificadas (muestra 1), o aguas saborizadas sin gas (muestra 2). La diferencia radica, en que al producir aguas con gas, saborizadas o no, se le agrega al agua clorada, una concentración baja de *vortexx*, lo que hace variar en una pequeña proporción los análisis realizados.

A modo de comparación de los parámetros y resultados obtenidos, se analizan además, muestras tomadas desde el agua que entrega la vertiente 1 y el agua que entrega el estanque clarificador al estanque pulmón *rinser*. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla n° 25.

**Tabla 25. Análisis a muestras de agua natural y a agua industrial a reutilizar.**

	pH	Temperatura [°C]	Conductividad [μS/cm]	Turbidez [NTU]	Concentración Cl <sub>2</sub>	Dureza [ppm CaCO <sub>3</sub> ]
<b>Muestra 1</b>	7,47	17	664	0,38	0,27	272
<b>Muestra 2</b>	6,12	22,5	667	0,27	2,5	284
<b>Agua V-1</b>	7,27	17,4	665	0,18	0,0	272
<b>Agua Clarificador</b>	7,18	16,6	667	0,49	0,47	278

La temperatura, es un parámetro muy importante por su efecto en las reacciones químicas, velocidades de reacción y en la aplicación que se le quiera dar a usos útiles posteriores. El aumento de la velocidad de reacción química supone un aumento en la temperatura, mientras que la temperatura anormalmente elevada puede dar lugar a un crecimiento indeseable de microorganismos.

El pH es un indicador de acidez o basicidad de una solución. Los valores de pH de las aguas naturales se encuentran alrededor de 7. Los valores registrados se consideran normales y no suponen ningún problema para ser reutilizados.

La conductividad es una medida de la capacidad de una solución para conducir la electricidad, puede relacionarse a la pureza química del agua a estudiar. En agua doméstica, se establece que posee un rango de conductividad de entre 500 a 800 [μS/cm], mientras que el agua destilada de laboratorio, posee una conductividad de 0,5 [μS/cm], y que además, según la norma chilena 1333<sup>U</sup>, con una conductividad menor o igual a 750 [μS/cm], se considera agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales. De esta manera, la conductividad obtenida en las muestras de agua a reutilizar, se considera dentro de lo normal.

La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Tanto las muestras como el agua de la vertiente 1 y del clarificador, muestran una turbidez por debajo de 1 NTU, el cual es el parámetro establecido por la OMS para una buena calidad de agua.

Con los datos obtenidos para la dureza, por su parte, se considera que las muestras son duras, debido a su alta concentración de carbonato de calcio en ellas, lo que es evidente por no tener un tratamiento previo para esta condición, pero lo que a su vez será corregido con la propuesta de proyecto al agua de lavado *rinser*. Enviando agua blanda desde un inicio a este proceso.

En las aguas analizadas, se han obtenido valores de cloro residual comprendidos entre 0,0 [ppm Cl<sub>2</sub>] para el agua de la vertiente 1, y 2,5 [ppm Cl<sub>2</sub>] para la muestra 2 en donde se manifiesta que el cloro es alto por la adición de la solución con *vortex* a ella. Una alta concentración clorada puede afectar su posterior uso, pero a su vez, es controlado por la misma volatilidad de este compuesto con el medio ambiente.

Por lo tanto, teniendo en cuenta la descomposición del cloro de las soluciones residuales, el agua puede reutilizarse en los procesos estudiados sin dificultad.

# CAPÍTULO IV: FACTIBILIDAD TÉCNICA A LA PROPUESTA DE PROYECTO DE REUTILIZACIÓN DE AGUA INDUSTRIAL RECUPERADA DESDE LAVADO DE BOTELLAS PET LÍNEA N° 4

## **4.1 Procesos propuestos para reutilización del agua recolectada**

Se basa en los procesos que no presenten un contacto directo con el producto en su operación. De esta manera, se estudian las siguientes operaciones:

- Lubricación de Cintas Transportadoras; En el año 2014, se utilizaron cerca de 20.000 [HI] en su proceder, y el requerimiento del agua a emplear en su operación es que sea blanda, sin aditivos clorados para su mejor adaptación al lubricante manejado.

- Torre Enfriadora; al igual que en el punto anterior, el agua utilizada solicita que sea blanda para evitar las incrustaciones a las temperaturas utilizadas. En el año 2014, se emplearon 8.843 [HI]

- Caldera; Este proceso demanda agua blanda por las altas temperaturas a las que llega en su operación, para evitar durezas e incrustaciones en los equipos y redes utilizadas. En el año 2014, se utilizaron un poco más de 40.000 [HI] en este proceso.



- Lavadora de Botellas de Vidrio; Si bien este equipo posee un contacto indirecto con el producto, al lavar el interior de las botellas, existen 2 estanques de pre-enjuague y enjuague inicial de las botellas, en los cuales se puede utilizar el agua recuperada desde los *rinser* (para mayor información ir a Anexo C, página 5). En el año 2014, se estima que se utilizaron 262.269 [HI] por la lavadora por los 4 estanques de enjuague existentes. Suponiendo, que los dos estanques en que se pretende reutilizar el agua industrial, utiliza la mitad de agua de la lavadora en una operación normal, se reducirían cerca de 130.000 [HI] con este proyecto.

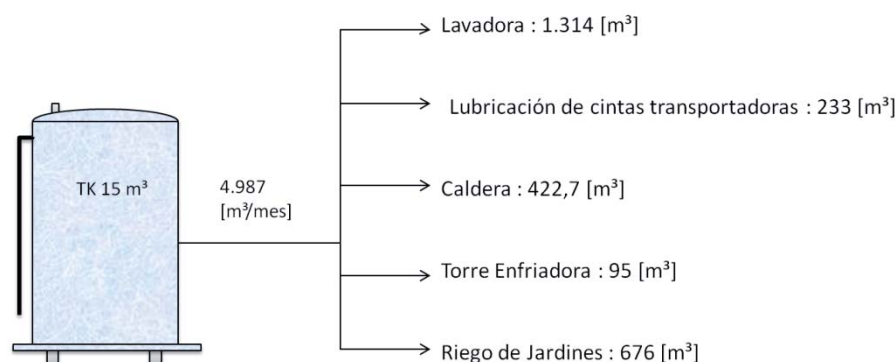
- Riego de Jardines; El riego de jardines requiere agua sin aditivos, de un ph neutro (pH igual a 7), por lo que se puede utilizar el agua recuperada, teniendo en cuenta la disminución de la concentración de cloro presente en las muestras. En el año 2014, en el riego de jardines se emplearon poco más de 100.000 [HI].

Se sintetizan las cantidades de agua empleadas en los procesos antes mencionados en la tabla n° 26.

**Tabla 26. Resumen consumo de Agua en procesos con posibilidad de utilizar agua recuperada.**

Proceso	Consumo 2014 [HI]
Lubricación de Cintas Transportadoras	19.975
Torre Enfriadora	8.843
Caldera	40.363
Lavadora	131.135
Riego de Jardines	101.296

Utilizando las cantidades especificadas, para los procesos estudiados en la tabla n° 26, se entregaría un total de 30.161 [m<sup>3</sup>] de agua desde la vertiente 1 que puede ser reemplazada por el agua industrial recuperada desde los estanques *rinser*, lo que equivale a cerca de un **27%** de disminución del consumo del recurso hídrico desde la vertiente 1 en el año 2014, y el cual se distribuiría según el siguiente esquema mostrado en la figura n° 25, ejemplificado para el mes de Enero del año 2014.



**Figura 25. Esquema ilustrativo de distribución del agua industrial a reutilizar en Planta Cachantun.**

Por lo tanto, para Enero del año 2014, se hubiera disminuido el consumo de agua blanda en un 57% con esta propuesta de proyecto, y del total de agua extraída desde la vertiente 1 (incluyendo el consumo por riego), se disminuiría en un 21,2%.

Continuando con este cálculo para el resto de los meses del año, se obtiene la tabla n° 27.

**Tabla 27. Resumen de posible disminución del consumo hídrico para el año 2014.**

	<b>Flujo Destinado a Recuperar [m<sup>3</sup>]</b>	<b>Total Agua Reutilizada [m<sup>3</sup>]</b>	<b>% Disminución Agua Blanda</b>	<b>% Disminución Vertiente 1</b>
<b>Enero</b>	4986,8	2740,3	57%	21%
<b>Febrero</b>	4632,3	3473,9	56%	27%
<b>Marzo</b>	3589,8	3210	57%	30%
<b>Abril</b>	2771,8	2443,6	57%	30%
<b>Mayo</b>	2499,2	1602,9	54%	22%
<b>Junio</b>	2708,5	1356,1	55%	19%
<b>Julio</b>	2021,9	1617,6	53%	25%
<b>Agosto</b>	2896	2395,8	55%	27%
<b>Septiembre</b>	2781,1	1637	57%	22%
<b>Octubre</b>	2728,3	2340,9	54%	27%
<b>Noviembre</b>	3036,3	4267,5	54%	39%
<b>Diciembre</b>	3270	3077,9	45%	28%

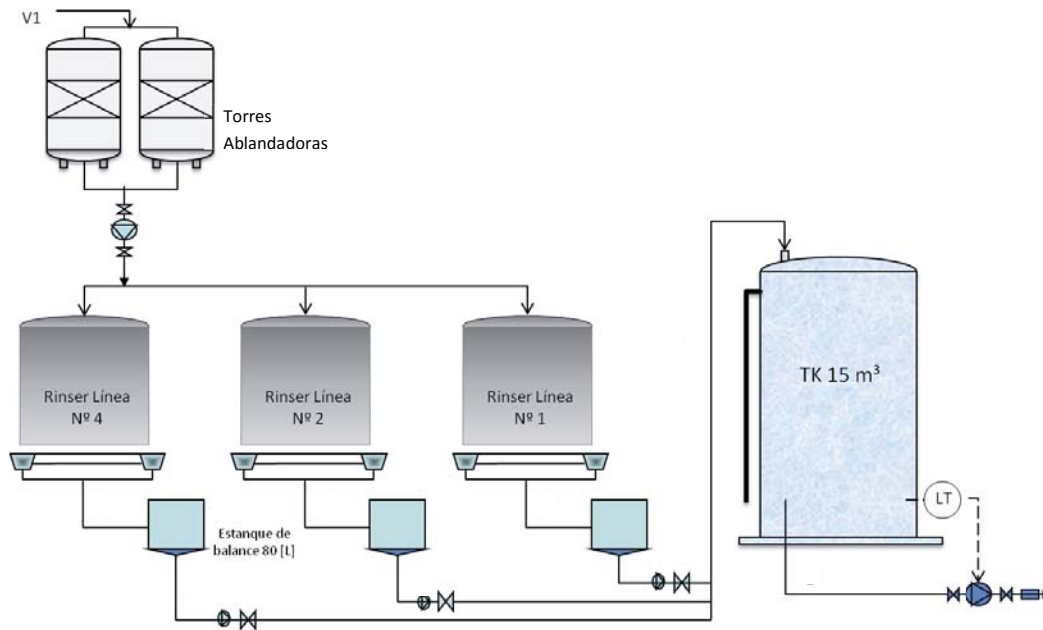
Obteniendo un promedio de disminución del consumo hídrico de la vertiente 1 de un 27% aproximadamente para el año 2014.

## 4.2 Proceso propuesto para recircular el agua industrial

La propuesta se basa, en primera instancia, en distribuir agua blanda a las lavadoras de botellas PET de las líneas de producción n°1, 2, 4 y bidones, y no agua dura directa de la vertiente 1 como se realiza actualmente, ya que para las operaciones en que se utilizará el agua a recircular como la refrigeración y lavado, el agua debe tener una baja concentración de sales de calcio y magnesio debido a la temperatura y solubilidad que necesitan, es decir, es importante que sea agua blanda para ser parte de estos procesos, en caso contrario, se forma un producto insoluble al mezclarlo con jabones imposibilitando la limpieza.

Es importante destacar, que el equipo *rinser* de la línea de bidones no fue tomada en cuenta en este proyecto, por encontrarse en un proceso de reestructuración en la planta, esto confiere cambio de infraestructura y equipamiento completo durante este estudio.

De esta manera, inicialmente se ubica un estanque de balance a un costado de los equipos *rinser* de las máquinas llenadoras en las líneas de manufacturación, los cuales acumulan el agua residual trasladada por gravedad, para luego ser enviada a un estanque de acumulación general de 15 [m<sup>3</sup>], ubicado a un costado de las torres ablandadoras, y el cual distribuirá el agua a los puntos a reutilizar antes estudiados, como se muestra esquemáticamente en la figura n° 26.



**Figura 26. Diseño de Propuesta de Proyecto en la Reutilización de Agua Industrial.**

La capacidad de los estanques seleccionados se basa en las cantidades teóricas de consumo de agua en estos equipos, mencionados en la tabla n° 20, lo que da un caudal teórico total de 11,4 [m<sup>3</sup>/h] en condiciones normales de trabajo para las 3 líneas operando simultáneamente, cumpliendo con la capacidad requerida el estanque seleccionado.

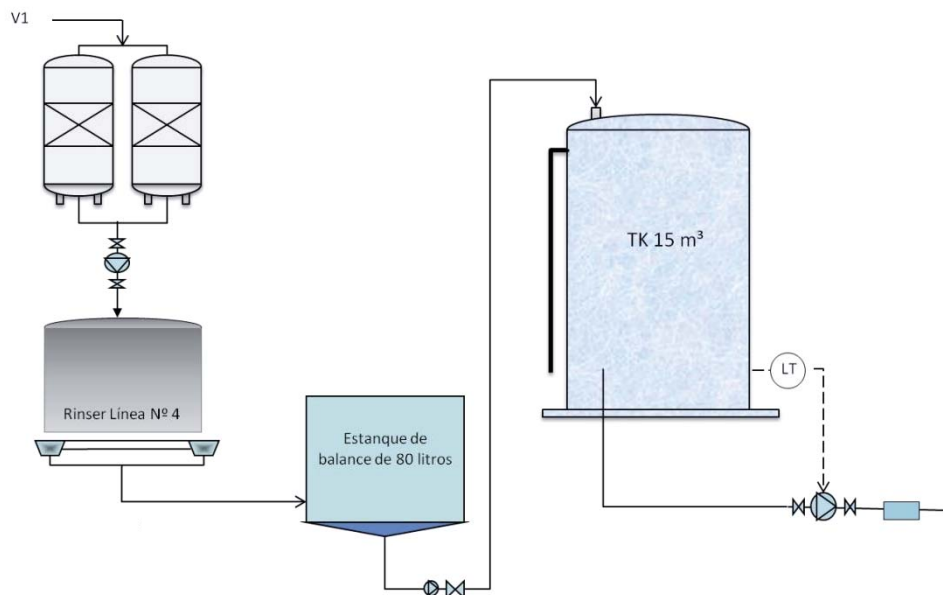
Es importante destacar, que esta propuesta se apoya en el proyecto realizado y llevado a cabo en Planta CCU, Santiago, el año 2013.

#### 4.2.1 Determinación y Distribución de equipos y redes

Como se menciona previamente, se establece que se presenta la selección y distribución de equipos y redes a utilizar en este proyecto enfocándose en la línea n°4, la cual fue designada en el capítulo anterior, como la de mayor influencia en el efecto estudiado. Con la posibilidad, de luego llevar esta propuesta a una mayor escala, es decir, aplicarlo en las otras dos líneas de producción que poseen equipos *rinser* en sus llenadoras.

Por consiguiente, se debe posicionar un estanque de balance de 80 [L] de capacidad a un costado del equipo *rinser* de esta línea, para que acumule el agua ya utilizada. El agua se trasladará a este estanque por gravedad.

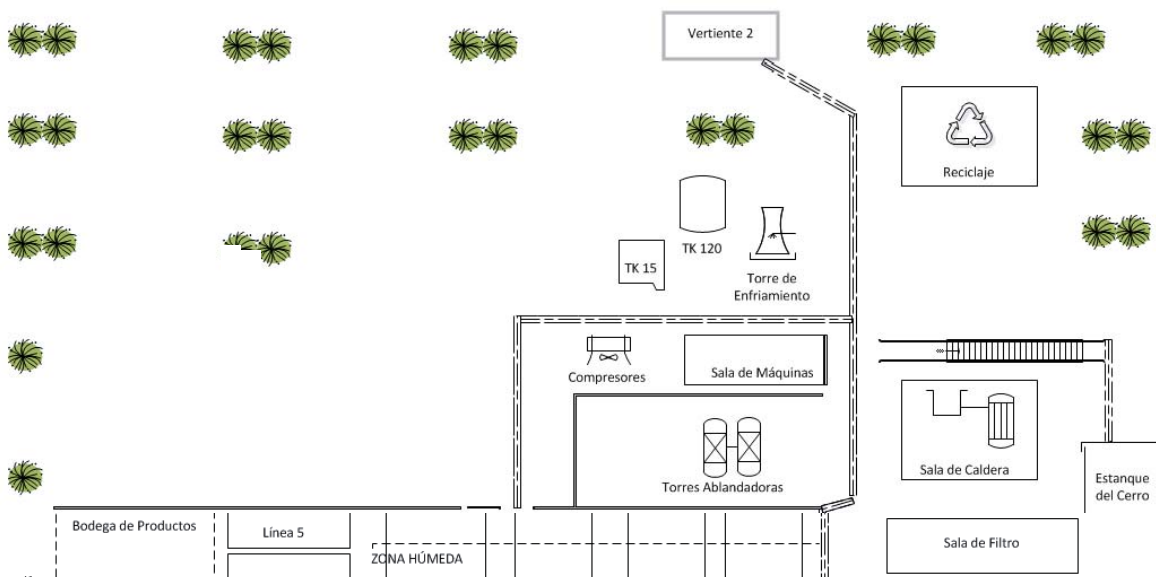
Posteriormente, este caudal se envía a un estanque acumulador general de 15 m<sup>3</sup> de capacidad, (TK 15), ubicado a un costado de las torres ablandadoras, el cual se encargará de distribuir el agua de forma constante según requerimiento a los puntos de reutilización, atravesando antes un filtro de 5 micras, como se muestra en la figura n° 27.



**Figura 27. Propuesta de Proyecto de Reutilización de Agua industrial a Línea n° 4.**

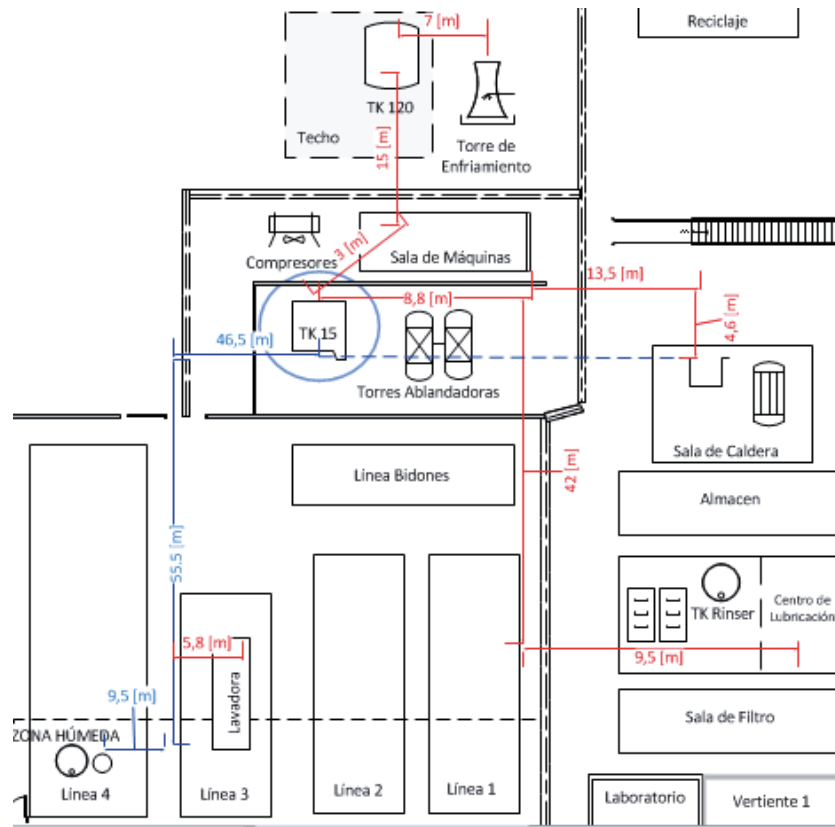
Dentro de los equipos mencionados, la planta cuenta con el estanque de acumulación de 15 m<sup>3</sup>, el cual es un estanque que quedó en desuso por un reajuste en las operaciones.

A continuación se muestra el lay-out general de la planta actual (figura n° 28), en donde se indica el lugar y disposición de los equipos involucrados en el proyecto.



**Figura 28. Lay-out General Actual Planta Cachantun.**

Luego, en conjunto con ingenieros de planta y en base a un diagrama de distribución anterior existente de la planta, se realizan las mediciones para la propuesta de proyecto de captación de agua industrial desde el *rinser* de la línea n° 4, ubicado en la zona húmeda de esta línea de producción, hasta el estanque pulmón TK 15 y hacia su posterior reutilización en los puntos propuestos, como se muestra en la figura n° 29.



**Figura 29. Diagrama de Distribución en Planta Cachantun, con dimensiones del proyecto**

Se dispone que la red de tuberías sea de acero inoxidable, preferible en la industria alimenticia y de bebidas por ser higiénica y durable operación. El estanque TK 15 consta de un sensor de nivel conectado a una segunda bomba de distribución del agua recuperada para detenerla en caso de no existir el caudal requerido, esto además de un filtro de 5 micras para garantizar la inocuidad del agua enviada.

## 4.2.2 Dimensionamiento de bombas y cañerías

Para conocer la capacidad de la bomba a utilizar para trasladar el líquido desde el estanque de balance al estanque pulmón TK 15, se realiza el cálculo de las pérdidas de energía asociado al traslado del agua industrial.

Aplicando el principio de Bernoulli, de forma general, se tiene la siguiente ecuación;

$$\Delta H = B_D - B_S$$

En donde;

$$B_1 = B_S + h_{fS}$$

$$B_D = B_2 + h_{fD}$$

Reemplazando se obtiene;

$$B_D - B_S = B_2 + h_{fD} - B_1 + h_{fS}$$

Por lo tanto;

$$\Delta H = (B_2 - B_1) + h_{fD} + h_{fS}$$

$$B_2 - B_1 = \frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2 \cdot g_c} + \Delta z \frac{g}{g_c}$$

Donde, los puntos 1 y 2 se refieren a los puntos superficiales del seno del líquido en los estanques que se traslada, y donde además;

$h_f$ : Pérdidas por fricción

$\frac{\Delta P}{\rho}$  : Altura de presión

$\frac{\Delta v^2}{2 \cdot g_c}$  : Altura de velocidad (energía cinética)

$\Delta z \frac{g}{g_c}$  : Altura estática (energía potencial)

#### 4.2.2.1 Dimensionamiento en la recolección del Agua Industrial

Para el dimensionamiento de las cañerías, se establece que estas serán de acero inoxidable, y se considerará un acercamiento aceptable al utilizar cañerías de acero al carbón para realizar los cálculos, ya que las tabulaciones y monógrafos a utilizar se basan en este tipo de material.

Se dimensionará la bomba hidráulica a utilizar en la recolección de agua industrial desde el estanque de balance (punto 1) al estanque de acumulación general TK 15 (punto 2).

De esta forma, se establece una velocidad recomendable inicial del líquido, de 7 [pie/s], para calcular el caudal Q en [GPM]. [4]

$$Q = 3,9 \frac{(m^3)}{h} \cdot \frac{3,28^3 (pie^3)}{1 (m^3)} \cdot \frac{1 GPM}{0,002228 \left( \frac{pie^3}{s} \right)} \cdot \frac{1 h}{3600 s} = 17,15 (GPM)$$

Utilizando el método del factor de potencia (o factor de flujo), se calcula este factor de la siguiente manera;

$$\frac{Q [GPM]}{v [pie/s]} = \frac{17,15 [GPM]}{7 [pie/s]} = 2,45$$

Con este valor obtenido se entra a la tabla 9.3 de propiedades [4], se escoge el valor más cercano al factor de potencia obtenido y se obtienen los valores del diámetro interno (Di), diámetro nominal (D) y se recalcula la velocidad del líquido para la descarga de la bomba (v<sub>D</sub>) con la nueva velocidad tabulada. De esta forma, para la descarga se consigue:

$$D_i = 1,049 (pulg)$$

$$D = 1 (pulg)$$

$$v_D = \frac{17,15 [GPM]}{2,69 \left[ \frac{GPM}{pie/s} \right]} = 6,37 [pie/s]$$

Para el caso de la succión, se utiliza el dato continuo al dato de la descarga encontrado en la tabla 9.3, de la siguiente manera;

$$D_i = 1,38 [pulg]$$

$$D = 1\frac{1}{4} [pulg]$$

$$v_s = \frac{17,15 [GPM]}{4,57 \left[ \frac{GPM}{pie/s} \right]} = 3,75 [pie/s]$$

Con estos datos, se procede a calcular las pérdidas por fricción, en donde se utiliza la ecuación de Darcy, mostrada a continuación.

$$h_f = f \cdot \frac{L_{eq}}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g_c}$$

Donde;

$L_{eq}$  : Largo equivalente

$D$  : Diámetro interno

$f$  : Factor de fricción

Para conocer el tipo de régimen en que se encuentra el líquido dentro de las cañerías, se calcula el número Reynolds, y se compara este valor con los datos mostrados en la tabla n° 28. La ecuación para evaluarlo está dada por:

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu}$$

**Tabla 28. Valores número de Reynolds en flujo de líquidos.**

	<b>Reynolds (Re)</b>
<b>Flujo Laminar</b>	$\leq 2.100$
<b>Flujo Transición</b>	2.100 a 10.000
<b>Flujo Turbulento</b>	$\geq 10.000$

De esta forma, se calcula para descarga y la succión de la bomba:

➤ Para la descarga:

$$Re = \frac{1,049 (pulg) \cdot 6,37(pie/s) \cdot 62,4(lb/pie^3)}{6,72 \cdot 10^{-4}(lb/pie \cdot s)} \cdot \frac{1 (pie)}{12 (pulg)}$$

$$Re = 51.707$$



➤ Para la succión:

$$Re = \frac{1,38 \text{ (pulg)} \cdot 3,75 \text{ (pie/s)} \cdot 62,4 \text{ (lb/pie}^3\text{)} \cdot 1 \text{ (pie)}}{6,72 \cdot 10^{-4} \text{ (lb/pie} \cdot \text{s)}} \cdot \frac{1 \text{ (pie)}}{12 \text{ (pulg)}}$$

$$Re = 40.045$$

De esta manera, tanto la succión como la descarga de la bomba que se utilizará para la recolección del agua industrial, presentan un flujo turbulento.

Por lo que se procede a calcular el factor de fricción ( $f$ ), en la zona de régimen turbulento, el cual se obtiene a través del Diagrama de Moody mostrado en la figura n° 31. Este factor de fricción se encuentra en función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa ( $\varepsilon/D$ ).

$$f = f(Re, \varepsilon/D)$$

Para conocer la rugosidad relativa, ésta se obtiene de forma gráfica (figura n° 32), conociendo el diámetro de la tubería ( $D$ ) y el material de construcción, en donde se utilizará para efecto de cálculo, acero comercial.

De esta forma;

➤ Para la descarga:

$$(\varepsilon/D) = 0,0018$$

$$Re = 51.707$$

$$f_D = 0,027$$

➤ Para la succión:

$$(\varepsilon/D) = 0,0015$$

$$Re = 40.045$$

$$f_S = 0,025$$

A continuación, se calculan los largos equivalentes de los *fittings* asociados a la instalación del proyecto. Es decir, se supone que no existen *fittings* ni válvulas, reemplazándose estos por una longitud de cañería que produzca igual caída de presión.

Para calcular el largo equivalente de cada elemento, existen tablas y monógrafos, mostrados en el ANEXO D, en los cuales se ingresa con el diámetro y con el tipo de *fiting* que se desea conocer.

Para este proyecto, se implementarán dos válvulas de esfera perforada, una ubicada en la succión de la bomba y otra en la descarga, con la intención de poder aislar este equipo centrífugo en caso que sea necesario, como en posibles problemas de presión.

Para efectos de cálculo, se realizan las estimaciones de pérdida de energía con válvulas de compuerta, la cual se considera una aproximación aceptada.

Además, como se aprecia en la figura n° 29, la cañería atraviesa prolongadas longitudes, en los cuales se establece que se añadirán *fittings* (válvula de compuerta) con *flanges* cada ciertos tramos, y así contar con la opción de desacoplar o aislar la red en caso de ser necesario.

Para calcular las pérdidas de energía asociadas a las válvulas de compuerta con *flanges*, se estima el coeficiente de resistencia ( $k$ ) de forma gráfica [5], y se multiplica a la altura de velocidad, para finalmente añadir las de forma directa a las pérdidas de energía.

El valor de  $k$  encontrado es de 0,186 para las válvulas de compuerta con *flanges*. Como se disponen 7 de estos accesorios;

$$k = 1,302$$

Por consiguiente, para cada caso se obtiene;

➤ Para la descarga ( $L+\sum L$ ):

L	377'
5 codos estándar 1"	3x5'
1 válvula check 1"	5'
1 válvula compuerta 1"	1,8'
Total =	<hr/> 398,8'

➤ Para la succión:

L	3,28'x2
2 codos estándar 1¼"	4x2'
1 válvula compuerta 1¼"	0,6'
Total =	<hr/> 15,16'

Se resumen los valores obtenidos en las tablas n° 29 y n° 30, presentadas a continuación.

**Tabla 29. Resumen valores obtenidos para los parámetros a analizar en el dimensionamiento de bombas y cañerías.**

Sección	Parámetro calculado	Valor parámetro
Descarga	Caudal, Q [GPM]	17,15
	Velocidad, v [pie/s]	6,37
	Diámetro interno, $D_i$ [pulg]	1,049
	Diámetro nominal, D [pulg]	1
	Reynolds, Re	51.707
	Rugosidad relativa, $\epsilon/D$	0,0018
	Factor de fricción, $f$	0,027

**Tabla 30. Continuación Resumen valores obtenidos para los parámetros a analizar en el dimensionamiento de bombas y cañerías.**

Sección	Parámetro calculado	Valor parámetro
Succión	Caudal, Q [GPM]	17,15
	Velocidad, v [pie/s]	3,75
	Diámetro interno, D <sub>i</sub> [pulg]	1,38
	Diámetro nominal, D [pulg]	1¼
	Reynolds, Re	40.045
	Rugosidad relativa, ε/D	0,0015
	Factor de fricción, f	0,025

Reemplazando estos valores en la fórmula presentada para las pérdidas por fricción, se obtiene:

➤ Para la descarga:

$$h_{fD} = 0,027 \cdot \frac{398,8 [pie]}{1,049 [pulg]} \cdot \frac{6,37^2 [pie^2/s^2]}{2 \cdot 32,2 \left[ \frac{lb_m pie}{lb_f - s^2} \right]} \cdot \frac{12 [pulg]}{1 [pie]} + 1,302 \cdot \frac{6,37^2 [pie^2/s^2]}{2 \cdot 32,2 \left[ \frac{lb_m - pie}{lb_f - s^2} \right]}$$

$$h_{fD} = 78,43 [pie]$$

➤ Para la succión:

$$h_{fD} = 0,025 \cdot \frac{15,16 [pie]}{1,38 [pulg]} \cdot \frac{3,75^2 [pie^2/s^2]}{2 \cdot 32,2 \left[ \frac{lb_m - pie}{lb_f - s^2} \right]} \cdot \frac{12 [pulg]}{1 [pie]}$$

$$h_{fD} = 0,72 [pie]$$

Sustituyendo las pérdidas por fricción dentro de la ecuación de Bernoulli, se obtiene:

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2 \cdot g_c} + \Delta z \frac{g}{g_c} + h_{fD} + h_{fS}$$

Por ser los puntos de análisis, puntos dentro de los estanques abiertos, en el seno del líquido, se desprecia la diferencia de presión y la diferencia entre, la velocidad en que baja el líquido en la succión y la velocidad con que sube en la descarga, por lo que la ecuación se reduce a lo siguiente:

$$\Delta H = \Delta z \frac{g}{g_c} + h_{fD} + h_{fS}$$

$$\Delta H = 2 [m] \cdot \frac{3,28 [pie]}{1 [m]} + 78,43 [pie] + 0,72 [pie]$$

$$\Delta H = 85,71 \text{ [pie]}$$

Luego;

$$Potencia Motor = \frac{\Delta H \cdot Q \cdot \rho}{\eta}$$

A grandes rasgos, se considera un 65-70% de eficiencia ( $\eta$ ) por convención, de esta manera;

$$Potencia Motor = \frac{85,71 \text{ [pie]} \cdot 0,038 \text{ [pie}^3/\text{s]} \cdot 62,4 \text{ [lb/pie}^3\text{]}}{0,7 \cdot 550 \left[ \frac{\text{pie} \cdot \text{lb/s}}{\text{HP}} \right]}$$

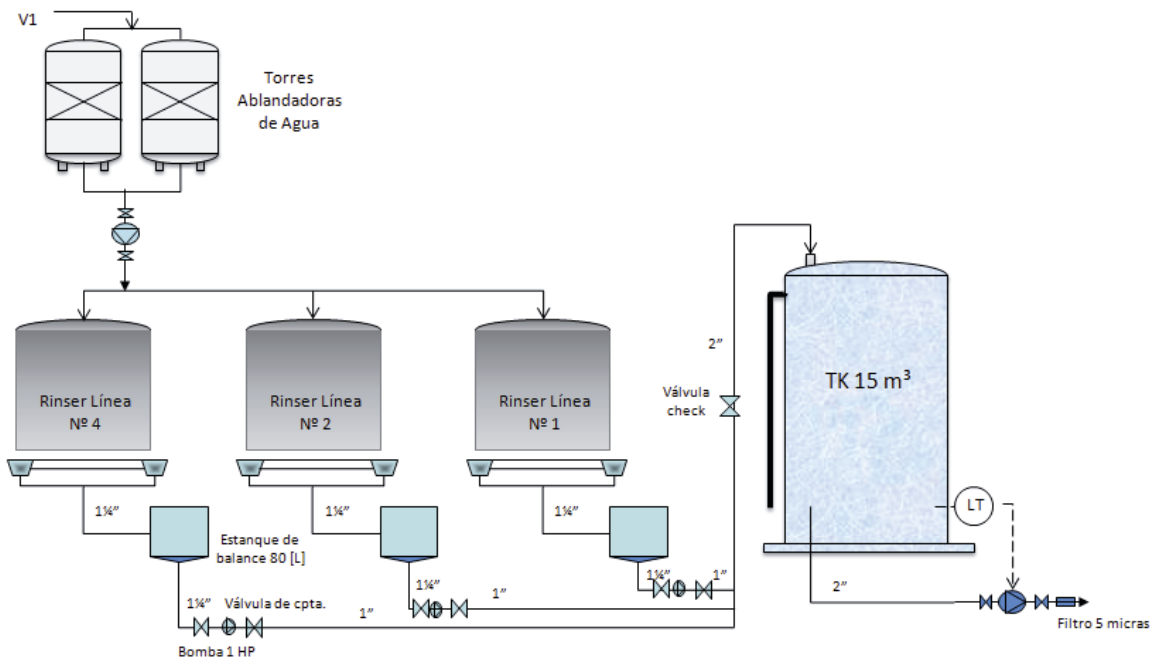
$$BHP = 0,53 \text{ [HP]}$$

De acuerdo a la norma SAHI, se debe aumentar un 18% de capacidad por seguridad a la bomba.

$$BHP = 1,18 \cdot 0,53 \approx 0,63 \text{ [HP]}$$

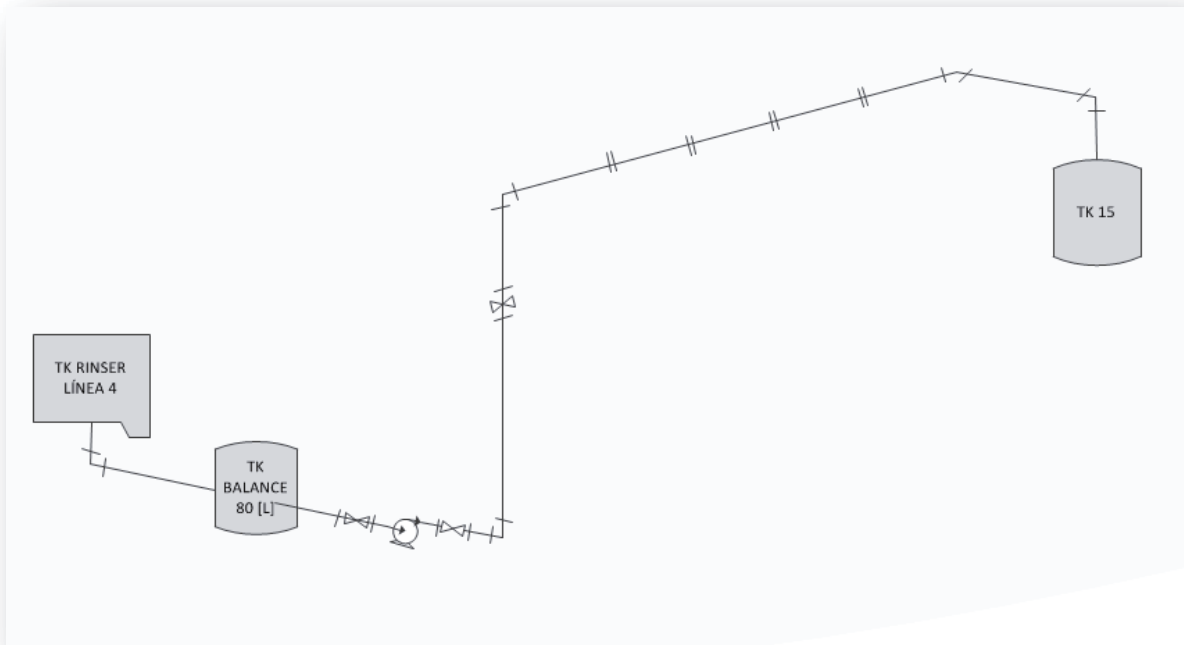
Por lo tanto, se solicitan bombas centrífugas de 1 [HP] de capacidad para trasladar el agua industrial desde el estanque de balance en la línea de producción n° 4 hasta el estanque pulmón TK 15 que distribuirá esta agua recuperada.

Es importante destacar, que la bomba centrífuga a utilizar tendrá un motor de velocidad variable para ser capaz de trabajar bajo un rango de caudal y no solo a uno específico, en donde bajo estas condiciones, esta bomba presenta un consumo de energía más bajo. Todos los accesorios y equipos requeridos en el proyecto son mostrados en la figura n° 30.

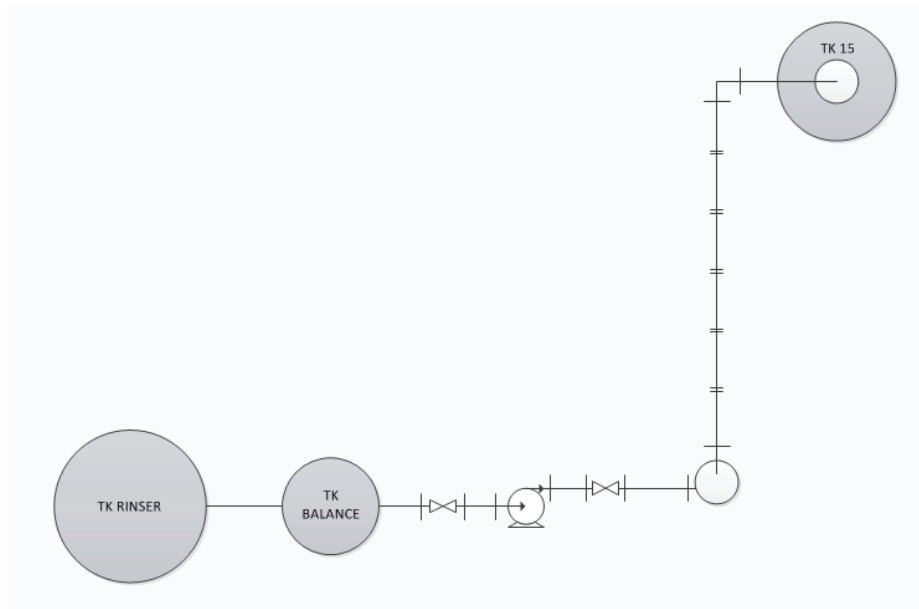


**Figura 30. Proyecto de reutilización de agua residual**

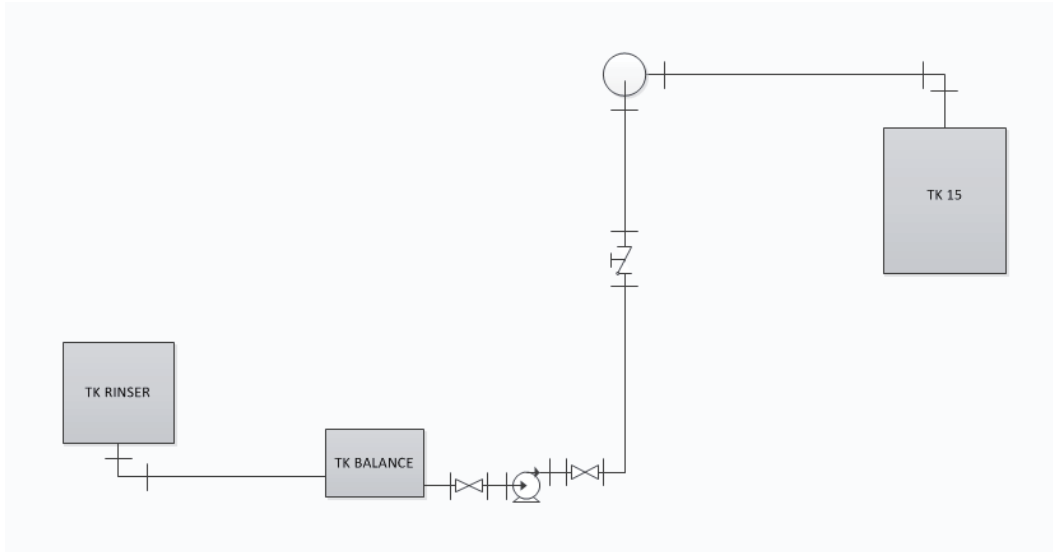
Representando el dibujo isométrico al esquema de este proyecto, más su vista superior y frontal, se muestran las figuras n° 31, 32 y 33, respectivamente.



**Figura 31. Dibujo isométrico general proyecto captación agua residual**



**Figura 32. Vista Superior Dibujo isométrico general proyecto captación agua residual**



**Figura 33. Vista Frontal Dibujo isométrico general proyecto captación agua residual**

#### 4.2.2.2 Distribución de agua industrial recuperada

Para el caso de la distribución del agua industrial recuperada, se utilizan las redes existentes que distribuyen el agua blanda desde las torres ablandadoras, ya que esta se encuentra a un costado del estanque pulmón de agua industrial TK 15, en donde se añadirá, antes de distribuir el agua recirculada, un filtro de 5 micras.

# CAPÍTULO V: COSIDERACIONES ECONÓMICAS

## 5.1 Beneficios del Proyecto

La extracción de agua desde la vertiente 1, tiene una implicancia en la energía de bombeo que conlleva trasladar el recurso hídrico. Para llevar a cabo esta estimación, la planta cuenta con un registro diario del consumo energético en todos sus procesos unitarios. Enfocándonos en los realizados por la vertiente 1, se obtiene la tabla n° 29.

**Tabla 31. Resumen de consumo energético desde la Vertiente 1 en 2014.**

	<b>Merma Electricidad Vertiente 1 [kW]</b>
<b>Enero</b>	2.108
<b>Febrero</b>	1.332
<b>Marzo</b>	1.985
<b>Abril</b>	1.648
<b>Mayo</b>	1.325
<b>Junio</b>	1.566
<b>Julio</b>	1.088
<b>Agosto</b>	1.546
<b>Septiembre</b>	1.940
<b>Octubre</b>	2.305
<b>Noviembre</b>	3.849
<b>Diciembre</b>	3.621

Se considera que cada kW consumido, tiene un costo \$85.-

Por lo tanto, el año 2014, se tuvo un costo de \$2.066.605.- por concepto de bombeo de extracción de agua desde la vertiente 1.

Considerando que en este periodo de tiempo, con el proyecto de reutilización de agua industrial, se hubieran extraído 82.249 [m<sup>3</sup>] solamente, se realiza una regla de 3 simple para conocer, en una primera instancia, el ahorro energético asociado, de la siguiente forma;

$$\begin{array}{l} 112.410 [m^3] \rightarrow 24.313 [kW] \\ 82.249 [m^3] \rightarrow x \end{array}$$

Obteniendo así, que se hubieran consumido únicamente 17.790 [kW], lo que se traduce en un posible ahorro energético de 6.523 [kW] en el año, lo que, manteniendo el procedimiento realizado anteriormente, tiene un costo asociado mostrado a continuación;

$$\begin{array}{l} 112.410 [m^3] \rightarrow \$2.066.605 \\ 82.249 [m^3] \rightarrow x \end{array}$$

De esta forma, se hubiera tenido un costo de \$1.512.109.- disminuyendo el costo en \$554.496.- (pesos chilenos), lo que se traduce en un 26,8% de ahorro económico por concepto de bombeo en el año 2014.



## 5.2 Capital de Inversión

El capital total de inversión está constituido por todas las inversiones necesarias para dejar el proyecto listo para operar. Una estimación de la Inversión se puede hacer en base al costo de los equipos.

### 5.2.1 Costo e Instalación de los Equipos

Se realiza una cotización a los equipos, accesorios y redes que se deben implementar en el sistema de recuperación de agua industrial desde el equipo *rinser* de las llenadoras en las líneas de producción n° 1, 2 y 4, considerando las relaciones propuestas por el libro Peter y Timmerhaus, el cual desarrolla estimaciones del costo de inversión total en base al costo de los equipos. [6]

Por lo que, los costos de la bomba centrífuga, las cañerías de acero inoxidable, el filtro de arena, los estanques de balance, las válvulas y accesorios se obtiene de una cotización existente realizada en TPH Ingeniería Ltda. el año 2009, para un proyecto de características similares al presentado, realizado por la empresa ECCUSA.

Según las tablas propuestas en el libro antes mencionado, se llevan estos costos al presente y/o a las capacidades requeridas bajo métodos de escalamiento detallados más adelante.

Además, el proyecto incluye el uso de equipos de la misma planta Cachantun, que quedaron en desuso por reestructuración y actualización en sus procesos, como es el estanque pulmón de 15 [m<sup>3</sup>] (TK 15), el cual almacena el agua industrial recuperada.

De esta manera, se detalla la implementación requerida por este proyecto en la tabla n° 30.

**Tabla 32. Equipos, Accesorios y Fittings necesarios para el Proyecto Propuesto**

Cantidad	Descripción
2	Mts. de cañería de acero inoxidable en 1¼", para utilizarla como descarga del estanque de balance hasta la bomba
115	Mts. de tubo de acero inoxidable en 1", para utilizar como matriz recolectora de agua industrial hasta el estanque pulmón TK 15
1	Estanque de balance de 80 [L] con control de nivel superior e inferior
1	Bomba centrífuga de 1 HP para un flujo de 3,9 [m <sup>3</sup> /h]
1	Válvula de retención de 1" ubicada en la descarga por la subida al techo de la cañería.
1	Válvula de compuerta de 1¼" ubicada en la succión por seguridad para aislar la bomba
2	Válvula de compuerta de 1" ubicada en la descarga por seguridad para aislar la bomba
1	Manómetro con válvula de servicio
7	Válvula de compuerta con flange para el ensamble de las cañerías en secciones de mayor longitud
1	Codo estándar de 1¼"
5	Codo estándar de 1"
1	Filtro de arena ubicado a la salida del estanque pulmón TK 15 para remover cualquier impureza presente.

Como se menciona anteriormente, los costos obtenidos no son de la actualidad, por lo que se llevan estos costos al presente utilizando el Método de los Costos Indexados y el Método del Escalamiento por Capacidad (para la ocasión en que los costos sean para equipos de capacidad diferente a los buscados) y los cuales se encuentran explicados en el libro de Peter & Timmerhaus mencionado previamente.

La ecuación utilizada en el Método de los Costos Indexados se encuentra dada por;

$$C_p = C_o \cdot \frac{I_p}{I_o}$$

La ecuación para el Escalamiento por Capacidad está dada por;

$$C_2 = C_1 \cdot \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^X$$

Por lo que combinando los dos métodos citados, se obtiene la siguiente ecuación para llevar los costos de los equipos encontrados al presente.

$$C_p = C_o \cdot \left(\frac{I_p}{I_o}\right) \cdot \left(\frac{Q_p}{Q_o}\right)^X$$

En donde,

$C_p$ : Costo de una planta o un equipo en el presente

$C_o$ : Costo de una planta o un equipo en el pasado

$I_p$ : Costo Indexado (índice) en el presente

$I_o$ : Costo Indexado (índice) en el pasado

$Q_p$ : Capacidad de una planta o equipo en el presente

$Q_o$ : Capacidad de una planta o equipo en el pasado

$X$ : Exponente para escalar la capacidad de una planta o un equipo (tabulado)

Es importante destacar, que los costos obtenidos son Costos FOB (*Free on Board*), lo que significa que el vendedor considera el traslado por parte del vendedor hasta el medio de transporte, por lo que se debe llevar a Costo CIF (*Cost, Insurance, and Freight*), el cual considera los costos que produce el transporte al puerto de destino, además de un seguro para cubrir riesgos de pérdida o daño, y el cual aumenta el costo FOB en una 25-30%.

La tabla n° 31 muestra el costo de los equipos principales para el año en que se realizó la cotización, llevados a costo CIF en la actualidad.

**Tabla 33. Costo Total de Equipos.**

<b>Equipo o accesorio</b>	<b>Costo existente 2009 [\$]</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Total CIF [\$]</b>
<b>Estanque de Balance</b>	450.000	3	2.276.073
<b>Bomba Centrífuga</b>	950.000	3	4.048.019
<b>Filtro de arena</b>	46.000	1	77.555
		<b>Total Costo CIF [\$]</b>	<b>6.401.646</b>
		<b>IVA (19%)</b>	<b>1.216.313</b>
		<b>Total Costo Equipos [\$ CLP]</b>	<b>7.617.959</b>

Una vez obtenido el costo Total de la maquinaria, se estima el valor de la instalación de los principales equipos, en base a una tabla extraída del Peters & Timmerhaus (Tabla 6-5), la cual entrega el costo de instalación como un porcentaje del costo de compra del equipo.

La tabla n° 32 muestra el costo de la instalación de estos equipos, los cuales incluyen lataformas y soportes, personal involucrado, gastos de construcción comprometidos y las pruebas necesarias para dejar en condiciones óptimas de operación.

**Tabla 34. Costo Instalación Equipos Principales en las tres Líneas de Producción.**

<b>Equipo</b>	<b>Costo Instalación % Costo Equipo</b>	<b>Costo de Instalación [\$]</b>
<b>Estanque</b>	20	455.215
<b>Bomba</b>	30	1.214.406
<b>Filtro</b>	65	50.411
	<b>Total Costo Instalación Equipos [\$ CLP]</b>	<b>1.720.031</b>

## 5.2.2 Costo total de Inversión

Para estimar el capital de inversión, se utiliza el Método de Porcentajes del Costo de los Equipos Principales, mostrado en el libro Peters & Timmerhaus [7]. Este método, utilizado en estimaciones preliminares de la inversión, requiere conocer el costo sin instalar de los equipos de mayor relevancia.

Es importante mencionar, que acondicionando este método al proyecto que se busca llevar a cabo, no se consideran algunos factores normalmente tomados en cuenta al construir una planta química, como es costo de los servicios de planta ya que este incluye las instalaciones requeridas para suministrar vapor, agua, combustible, aire y otros servicios tales como desechos, sistemas de seguridad contra incendio, enfermería y cafetería, los cuales no son necesarios en este proyecto.

No se consideran tampoco, los costos en edificaciones, ni la adquisición de terreno por no representar gastos que se incurren en este proyecto de pequeña magnitud, ya que solo es una adaptación a los procesos existentes.

De esta forma, se estima el capital de inversión mostrado en la tabla n° 33 (para mayor información sobre los cálculos realizados, revisar ANEXO C, página 1).

**Tabla 35. Costo Total de Inversión en Proyecto Propuesto.**

		<b>% Costo CIF Equipos</b>	<b>Costo Estimado [\$]</b>
<b>Costos Directos</b>	Costo Equipos entregados	100	6.401.646
	Instalación Equipos	-	1.720.031
	Instrumentación y Control	3	192.049
	Cañerías instaladas	66	4.225.086
	Sistemas Eléctricos	11	704.181
	Edificación	-	-
	Servicios de Planta	-	-
	Terrenos	-	-
	Preparación de Terreno	4	256.066
<b>Total Capital Fijo Directo [\$]</b>			<b>13.499.060</b>
<b>Costos Indirectos</b>	Supervisión e Ingeniería	10	640.165
	Gastos de Construcción	5*	674.953
	Honorarios de Contratista	2*	269.981
	Gastos Legales	1	64.016
	Contingencias	5	320.082
<b>Total Capital Fijo Indirecto [\$]</b>			<b>1.969.198</b>
<b>Total Capital Fijo [\$]</b>			<b>15.468.257</b>
<b>Capital de Trabajo (15% TCI) [\$]</b>			<b>2.729.692</b>
<b>Total Capital de Inversión [\$ CLP]</b>			<b>18.197.950</b>

\*: Indican un porcentaje del capital fijo directo y no del costo total de los equipos principales como el resto.

### 5.3 Análisis de Rentabilidad

Antes de invertir en la instalación de este proyecto, es importante estudiar su rentabilidad, la cual se considerará en un periodo de 10 años.

El criterio o indicador económico a utilizar será el Análisis Razón Beneficio/Costo (B/C), en donde se observa que un proyecto es atractivo si los beneficios derivados de su implementación y reducidos por los beneficios negativos esperados, excede sus costos asociados, y en donde se estima de la siguiente manera;

$$\text{Razón } B/C = \frac{\sum_{p=0}^n \frac{B_p}{(1+i)^p} - \sum_{p=0}^n \frac{BN_p}{(1+i)^p}}{\sum_{p=0}^n \frac{C_p}{(1+i)^p}}$$

En donde:

B: Beneficios, ventajas experimentadas por el propietario expresadas en términos monetarios

BN: Beneficio Negativo, Desventaja para el propietario cuando el proyecto es implementado

C: Costo, Gastos de inversión

i: Tasa de interés del mercado

El criterio de decisión de este análisis se basa en:

*Razón B/C* > 1: Se trata de un proyecto Rentable, aporta ganancias

*Razón B/C* = 1: Es indiferente realizar o no el proyecto, solo se recupera la inversión.

*Razón B/C* < 1: Indica que el proyecto no es Rentable.

Considerando una tasa de interés del 10% (la cual es la tomada en cuenta por la planta), para el proyecto se obtiene:

$$\text{Razón } B/C = \frac{\$ 554.496 \cdot \left( \frac{(1 + 0,1)^{10} - 1}{0,1 \cdot (1 + 0,1)^{10}} \right)}{\$18.197.950}$$

$$\text{Razón } B/C = 0,19$$

En consecuencia, el proyecto no es rentable económicamente.

## **CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES**

En base a lo estudiado en este proyecto, y a los resultados obtenidos con respecto a los consumos de agua llevados a cabo por los procesos principales de la planta, se concluye que la máquina *rinser*, lavadora de botellas PET es la que mayor influencia tuvo sobre el problema estudiado, es decir, fue la operación que utilizó la mayor cantidad de agua en el año 2014. A su vez, dentro de las 3 líneas de operación estudiadas que utilizan esta máquina (línea 1, 2, y 4), la línea n° 4 fue la que gastó mayor cantidad del recurso hídrico, lo que se atribuye directamente a la mayor frecuencia de uso de esta línea de producción en comparación a las demás.

Por su parte, analizando los procesos en donde se pretende reutilizar el agua recuperada, se observa que de un total de 112.410 [m<sup>3</sup>] de agua extraída desde la Vertiente 1 en el año 2014, se destinaron 39.157 [m<sup>3</sup>] al estanque pulmón *rinser*, de los cuales, en base al proyecto, inicialmente se deben destinar a las torres ablandadoras, para luego ser enviadas a este estanque.

En base a lo anterior, se concluye que el indicador hídrico se reduciría en un 27%, llegando a un **1,73** [hl consumidos/hl producidos]. Si bien no es el 1,6 deseado en un principio de esta investigación, se acerca bastante a una posible solución al problema.

Además, en base a las consideraciones económicas realizadas, se concluye que el proyecto no es rentable económicamente, ya que la adquisición e implementación del proyecto asciende a un costo superior a los \$18.000.000.- (pesos chilenos) mientras que el beneficio asequible es el considerado por el ahorro energético asociado a la disminución de agua bombeada desde la vertiente 1, lo cual se estima en \$554.000.- (pesos chilenos) para el año 2014.

A pesar de lo anterior, es importante tomar en cuenta, los beneficios no económicos de este proyecto, la ayuda y colaboración medioambiental llevado a cabo, desarrollando un manejo sustentable del recurso hídrico, que como se identifica en un principio, es un recurso amenazado a una posible escasez cada vez mayor con el transcurso del tiempo por el incremento poblacional, contaminación, explotación inapropiada, entre otros.

## Bibliografía

- [1] UNESCO, «Global Hydrology and water resources,» de *The United Nations World Water Development Report*, 2005, p. 121.
- [2] UNESCO, «Facts and Figures,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact1-demographics-consumption>. [Último acceso: 10 Octubre 2014].
- [3] UNESCO, «World Water Assessment Program,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact2-agricultural-use>. [Último acceso: 10 Octubre 2014].
- [4] «Bases de Diseño para líneas de producción,» de *Mecánica de Fluidos*, Valparaíso, 2003, pp. 117-131.
- [5] «Coeficientes de Resistencia para Válvulas y Fittings,» de *Mecánica de Fluidos*, Valparaíso, 2003, p. 116.
- [6] P. & Timmershaus, «Plant design and economics for Chemical Engineers,» Advisory board.
- [7] P. & Timmerhaus, «Ratio Factors for estimating capital investment items based on delivered equipment cost,» de *Plant design and economics for Chemical Engineers*, Advisory Board, 2002, pp. Tabla 6-9 .
- [8] P. Gleick, «Water resources,» de *Encyclopedia of Climate and Weather*, Oxford University, New York, S.H. Schneider, 1996, pp. vol. 2 817-823.
- [9] G. Pérez, «Ciclo Hidrológico (o del agua),» 2005. [En línea]. Available: <http://www.ciclohidrologico.com>. [Último acceso: 09 Octubre 2014].
- [10] FAO, «La Agenda de Desarrollo Post-2015 y los Objetivos de Desarrollo del Milenio,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/post-2015-mdg/14-themes/water/es/>. [Último acceso: 30 Septiembre 2015].
- [11] AQUAE, «Uso del Agua en el Mundo,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.fundacionaquae.org/wiki/uso-del-agua-en-el-mundo>. [Último acceso: 30 Septiembre 2015].
- [12] UNESCO, «World Water Assessment Programme,» de *Water in a change world*, Paris, Earthscan, 2009, p. 144.
- [13] UNESCO, «World Water Assessment Programme,» 2009. [En línea]. Available: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/industry>. [Último acceso: 10 Octubre 2014].



- [14] FAO, «Agua y Cultivos,» Departamento de Desarrollo Sostenible, [En línea]. Available: <http://www.fao.org/docrep/005/y3918s/y3918s03.htm>. [Último acceso: 30 Septiembre 2015].
- [15] Instituto Nacional de Normalización INN-Chile, «Requisitos de Calidad del agua para diferentes usos,» Santiago, 1999.

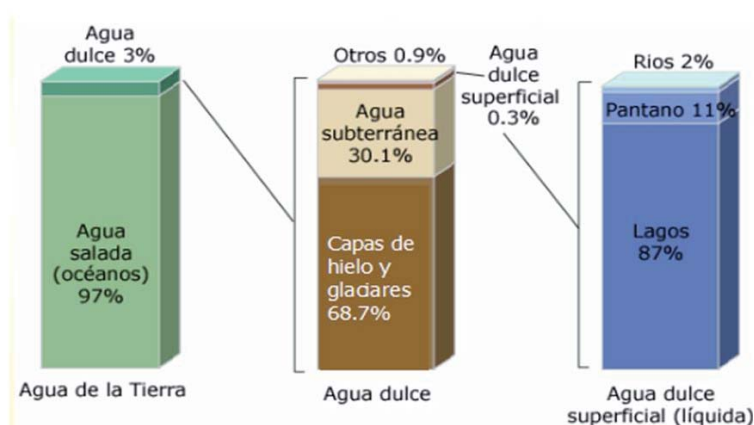
# ANEXOS

## ANEXO A

### A-1 Distribución del agua en la tierra

[1] La distribución del agua en el planeta es muy variable, ya que en algunas regiones es muy abundante, mientras que en otras escasea. Sin embargo, la totalidad de agua relativamente no cambia en el tiempo.

Se observa, que de un total de 1.386 millones de kilómetros cúbicos, cerca de un 97% es agua salada presente en los mares. De este 3% restante correspondiente al agua dulce total en la tierra, un 68% está confinada en glaciares y nieve, otro 30% se encuentra en napas subterráneas y acuíferos, y solo cerca de un 1% del agua dulce se encuentra en fuentes superficiales como en ríos y lagos, como se muestra en el gráfico mostrado en la figura n° 34, los cuales son la principal fuente de agua que la población utiliza a diario [8].

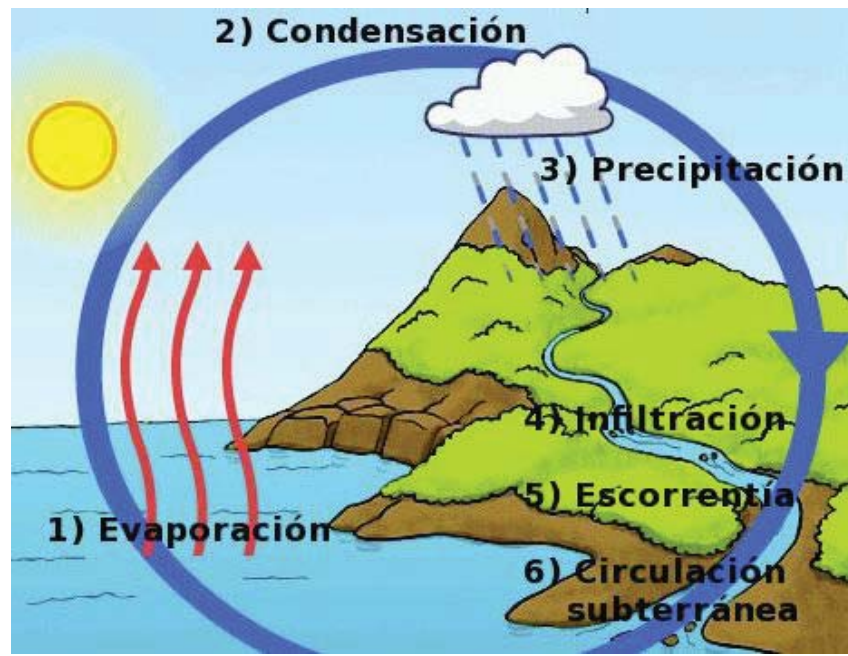


**Figura 34. Distribución del agua en el Planeta.**

El agua existe en forma sólida (hielo), líquida y gaseosa (vapor) que se puede observar en océanos, ríos, nubes, lluvias y otras formas de precipitación en frecuentes cambios de estado.

Al conjunto de procesos físicos involucrados en la circulación y conservación del agua en el planeta, se le conoce como “Ciclo hidrológico” o “Ciclo geohidrológico”, en donde el agua puede cambiar su estado de la materia en varias etapas del ciclo, y los procesos pueden ocurrir en segundos o en millones de años, figura n° 35.

Así, el sol dirige el ciclo calentando el agua superficial de los océanos y sublimando los glaciares y nieve presentes, formando vapor de agua. Las corrientes de aire ascendentes toman el vapor de la atmósfera, junto con el agua de evapotranspiración, que es el agua proveniente de las plantas y de la evaporación del suelo, y lo elevan en el aire, donde las temperaturas más frías hacen que todo lo anterior condense en nubes [9].



**Figura 35. Ciclo Hidrológico del agua.**

Las corrientes de aire mueven las nubes alrededor del globo provocando que las partículas de éstas choquen, crezcan y caigan del cielo en forma de precipitación, la cual puede ser lluvia o nieve dependiendo de la temperatura. La mayor parte de la precipitación cae sobre el océano o la tierra, en donde debido a la gravedad, fluye sobre la superficie terrestre. Parte de ésta agua desemboca en ríos a través de valles en el paisaje, y la corriente mueve el agua de los ríos de vuelta a los océanos. El agua filtrada pasa a las aguas subterráneas, que se acumulan y son almacenadas como agua dulce en lagos. El resto de agua precipitada que no fluye por los ríos, empapa la tierra como infiltración, rellenando acuíferos, los cuales son capaces de almacenar grandes cantidades de agua dulce durante largos períodos de tiempo. Con el tiempo, el agua sigue fluyendo, para entrar de nuevo al océano, donde el ciclo se renueva.

## A-2 Distribución del consumo de aguas dulces

El agua es un factor determinante en todos los aspectos de la vida humana, atraviesa todos los sectores y fronteras, y se ve afectada por una serie de factores externos tales como el desarrollo económico, el cambio de estilos de vida y patrones de consumo, una creciente y móvil población mundial, el cambio climático y los cambios tecnológicos y sociales. Cada vez es más evidente que el uso actual, el desarrollo y la gestión de los recursos hídricos del planeta y de los servicios que prestan son insostenibles. El uso del agua ha aumentado más del doble de la tasa de crecimiento de la población en el siglo pasado, y aunque a nivel mundial no hay escasez de agua como tal, un número creciente de regiones se enfrentan a una escasez crónica del agua [10].

Entre los ejemplos de los efectos positivos del agua en el crecimiento económico y la reducción de la pobreza se incluyen el regadío, la pesca, la acuicultura, la energía hidroeléctrica y la gestión de inundaciones. La captación de agua para el regadío y la producción alimentaria constituye una de las mayores presiones sobre los recursos de agua dulce.

A nivel mundial, la agricultura supone un 70% del consumo mundial, un 20% es para uso industrial, y un 10% para uso doméstico. En los países industrializados, las industrias llegan a consumir hasta un 50% del agua disponible para consumo humano. En países como Bélgica, ese consumo llega a ser hasta de un 80% [11].

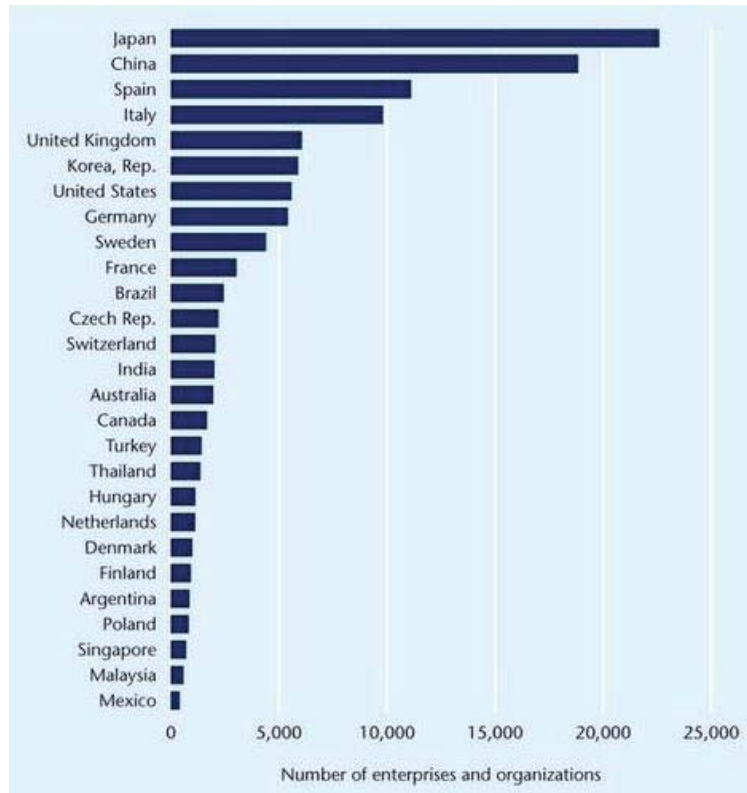
La industria crea un impacto negativo notable sobre los recursos hídricos, por las descargas de aguas residuales que realizan y su potencial de contaminación, más que por la cantidad de agua que realmente utilizan en producción.

Muchas aguas residuales industriales se descargan sin tratamiento originando corrientes de agua que reducen la calidad en volúmenes de agua mayores y en algunos casos, se infiltran en acuíferos contaminando los recursos hídricos subterráneos también.

Los contaminantes de agua más importantes creadas por éstas actividades humanas, son microbios patógenos, sustancias que consumen oxígeno, metales pesados, y materia orgánica consistente, así como los sedimentos en suspensión, pesticidas.

En cuanto a los metales pesados, el mercurio y el plomo amenazan la salud humana y el ecosistema en algunas zonas, ya que se acumula en los tejidos de los peces. Las centrales eléctricas de carbón son una fuente importante de acumulación de mercurio en éstos animales.

A pesar de esto, ha habido un crecimiento constante en las empresas que buscan la certificación a través de la norma ISO 14001, la norma internacional para la gestión ambiental administrado por la Organización Internacional de Normalización. A finales del año 2002 alrededor de 50.000 empresas en 118 países habían recibido esta certificación [12], mostrado en la figura n° 36.



**Figura 36. Número de empresas con un sistema certificado de Gestión Ambiental<sup>1</sup>**

La producción industrial ha seguido creciendo, pero debido al aumento de la eficiencia y la transición energética en las empresas, el nivel de extracción de agua para uso industrial en países desarrollados se ha estabilizado, e incluso ha comenzado a disminuir en algunos países (después de haber aumentado entre 1960 y 1980) [13].

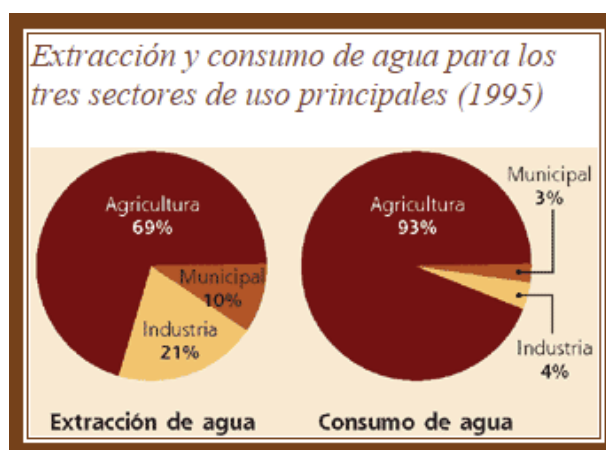
Existe una gama muy amplia de instrumentos de regulación, iniciativas voluntarias, capacitación y asesoramiento, todos estos disponibles para mejorar el uso del agua dulce, reduciendo las emisiones a niveles contaminantes muy bajos. Estas herramientas pueden ayudar al mismo tiempo, a mejorar la eficiencia en la producción, reducir el consumo de materias primas, facilitar la recuperación de materiales valiosos y permitir una gran expansión de reutilización/reciclaje.

Por lo tanto, es posible dissociar el desarrollo industrial, de la degradación del medio ambiente, para así reducir radicalmente los recursos naturales y el consumo energético, y al mismo tiempo, tener industrias limpias y rentables.

<sup>1</sup>: Certificación ISO 14001 de la Comisión Internacional para la estandarización y la inscripción en régimen comunitario y auditoría (EMA) de la Comisión Europea.

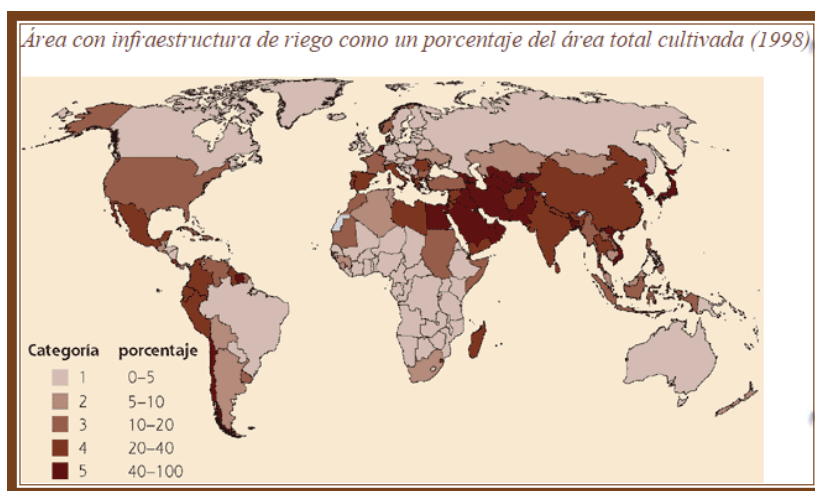
Es importante distinguir entre el agua que es extraída y el agua que es consumida realmente, el agua que es extraída pero no consumida regresa a los ríos o se infiltra en el suelo y es almacenada en los acuíferos. Sin embargo, generalmente, esta agua es de peor calidad que el agua extraída inicialmente. El riego consume la mayor parte del agua que se extrae, como resultado de la evaporación, incorporación a los tejidos de las plantas y transpiración de los cultivos [14].

Hasta el 90% del agua extraída para el suministro doméstico vuelve a los ríos y acuíferos como agua residual. La industria consume aproximadamente el 5% del agua realmente consumida, como lo muestra el gráfico mostrado en la figura n° 37.



**Figura 37. Extracción y consumo de agua en 3 sectores principales del mundo en 1995.**

Aunque existen variadas posibilidades para incrementar la relación entre los rendimientos de los cultivos y el agua utilizada en la agricultura, actualmente los mayores esfuerzos se dirigen a la agricultura bajo riego, que depende principalmente del agua superficial de los ríos o del agua subterránea de los acuíferos. Como puede observarse en la figura n° 38, muchos países en desarrollo dependen fuertemente del riego.



**Figura 38. Infraestructura de riego en el mundo en 1998.**

En un estudio realizado por la FAO, realizado en 93 países en desarrollo, se observó que en 18 de ellos la agricultura de regadío ocupa más del 40% del área cultivable; otros 18 países riegan entre el 20 – 40% de su área cultivable.

Inevitablemente, este intenso uso agrícola del agua puede crear una gran tensión en los recursos hídricos.



## ANEXO B

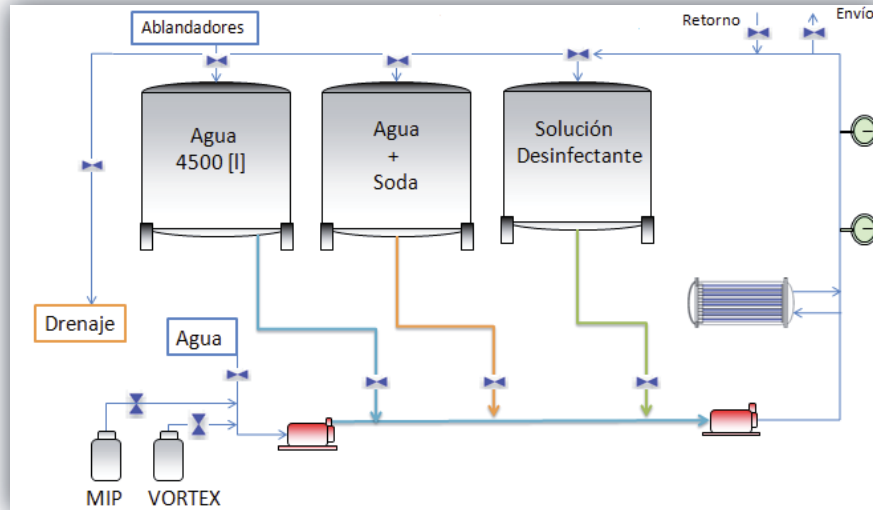
### B-1 Procedimiento Saneado CIP

El sistema de saneado CIP, ha sido elaborado con el objetivo de preparar soluciones de tipo desinfectante y alcalina, a temperatura ambiente o templada, respectivamente, para ser utilizadas en el lavado de equipos y redes alimentadoras. Consta de tres estanques térmicos de 6.000 [l] de capacidad en donde se almacenan agua (estanque 1) y las dos soluciones de lavado; alcalina y desinfectante (estanque 2 y 3 respectivamente), como muestra la figura n° 39. Tanto los estanques, como bombas y otros accesorios están conectados con cañerías construidas de acero inoxidable.



**Figura 39. Sistema de Preparación de un Saneado CIP en Planta Cachantun.**

Para preparar un saneado CIP en este sistema, en primer lugar se adiciona agua blanda al primer estanque hasta el *set point* de 4.500 [l], tal como indica la figura n° 40. Luego, se hace pasar esta agua al tercer estanque, y en donde al mismo tiempo, se adiciona una cantidad establecida de desinfectante (nombre comercial *vortexx*) por medio de una bomba dosificadora, para luego recircular esta solución formada hasta llegar a la concentración requerida, a temperatura ambiente. La concentración de desinfectante se mide manualmente, buscando obtener un 0,2% aproximado de *vortexx* en la solución. Posteriormente, se hace pasar agua blanda por las redes utilizadas, para realizar un lavado de cañerías con el objetivo de remover toda impureza o resto de desinfectante en ellas, la cual luego, es enviada directamente al drenaje.



**Figura 40. Esquema General de redes y Producción de un Saneado CIP.**

Luego, se agrega agua blanda nuevamente al primer estanque hasta su *set point*, y se hace recircular esta agua ya acumulada, al segundo estanque, mientras se dosifica la solución alcalina de soda cáustica (nombre comercial MIP). Así hasta que el conductímetro, ubicado lateralmente, indica que se ha llegado a  $\sim 46$  [mS] de conductividad en la solución. En ese momento, se envía una señal eléctrica para cerrar la válvula que adiciona la soda, y se hace recircular la solución obtenida, por el estanque y un intercambiador de calor, de forma de llevarla a los  $60^{\circ}\text{C}$  de temperatura requeridos por el producto comercial MIP y su correcta posterior utilización.

Finalmente, se vuelve a realizar el lavado de las tuberías, se envía ésta agua al drenaje, y se adiciona agua al primer estanque, de forma que los 3 estanques contienen sus soluciones correspondientes, listas para realizar el circuito de desinfección cuando este sea solicitado.

Esta preparación del sistema de saneado puede tardar alrededor de 20 a 30 [min] dependiendo si existe un caudal abundante de agua blanda y buena presión de vapor al momento de preparar la solución alcalina, es decir, en condiciones normales de trabajo.

El sistema de saneado CIP, posee un sistema automatizado de medición y control de señales analógicas y digitales, así como de almacenamiento y despliegue de la información procesada, ya que monitorea y controla en tiempo real las variables de temperatura, concentración y flujo de soluciones dentro del proceso de saneamiento en sitio (CIP). Así, por ejemplo, cuando la solución de agua con soda cáustica tiene una temperatura diferente a los  $60^{\circ}\text{C}$  que posee de *set point*, el sistema automáticamente la restaura mediante vapor emitido por un intercambiador de calor cercano a los estanques.

Existen 4 tipos de saneado que se pueden solicitar, según la limpieza que se necesite realizar en el equipo a higienizar, a partir de lo ya preparado. Estas pueden ser:

1. Saneado de 1 paso (*Shock* térmico)
2. Saneado de 3 pasos (en frío)
3. Saneado de 5 pasos
4. Saneado de 7 pasos

El saneado por *shock* térmico, consta de recircular el agua contenida en el primer estanque, por el intercambiador de calor y su estanque, hasta que éste llegue a una temperatura de 80°C aproximadamente, momento en el cual, es enviada al estanque llenadora de la línea solicitada por medio de una bomba trifásica, la cual recircula y envía el producto, según el caso. Normalmente, cuando este tipo de saneado es requerido, se cuenta con un estanque adicional al sistema nombrado anteriormente, el cual se encuentra específicamente para realizar este tipo de trabajo, para así ahorrar problemas de retraso al preparar otro tipo de saneado, debido al calentamiento y enfriamiento propiamente tal del equipo.

El saneado en frío, consiste en recircular inicialmente agua blanda al estanque solicitado, durante unos 5 [min], luego se hace recircular la solución desinfectante *vortexx*, entre 5 a 10 [min] y finalmente un segundo enjuague durante otros 5 [min].

Para el caso del saneado de 5 pasos, este se basa en recircular las soluciones en los equipos a sanear en el siguiente orden, durante un tiempo determinado:

- i. Enjuague inicial (durante 5 min)
- ii. Solución alcalina (MIP) (durante 20 min)
- iii. Segundo Enjuague (durante 5 min)
- iv. Solución desinfectante (Vortexx) (durante 5 a 10 min)
- v. Enjuague final (durante 10 min)

Finalmente, la opción del saneado de 7 pasos, es similar al anterior de 5 pasos, con la excepción que luego del segundo enjuague, se adiciona un ácido nítrico (Nitro Plus), preparado y dosificado desde la sala de elaboración de la planta, seguido por un tercer enjuague antes de continuar con la adición de la solución desinfectante, como muestra la figura n° 41. Por lo que se detiene el saneado normal, para que se envíe este ácido de forma manual y luego continuar con el sistema programado.



**Figura 41. Secuencia de Etapas del Saneado de 7 pasos.**

Es importante destacar, que el tipo de saneado que se lleve a cabo, ya sea uno o un conjunto de ellos, está determinado por el tipo de producción que se haya llevado a cabo y la que se quiera realizar posterior a ésta. Este cambio establece la “receta” a seguir para higienizar el/los equipos y redes utilizadas.

La utilización del agua blanda para este proceso se basa en que el agua al poseer estas características, se potencia la acción de las soluciones desinfectantes que se utilizan en este proceso de higienización.

Cabe destacar, que al preparar un saneado, el proceso de aplicación sigue la metodología y requerimiento exigido por ECCUSA (Cachantun) – Chile, para lograr un buen saneado de tuberías y equipos. Además de acoplarse con los dispositivos de control de limpieza existentes.

A su vez, consta de un monitoreo desde laboratorio al finalizar el último enjuague del proceso, para verificar que los equipos y redes queden en condiciones óptimas de trabajo.

## B-2 Trabajo y Operación Línea de Producción N° 3.

La línea de producción N° 3 de la Planta, se encarga específicamente de producir aguas carbonatadas y ozonizadas en botellas de vidrio de 350 cc, en formato desechable o retornable.

En su proceso de producción, inicialmente se retiran las botellas recicladas desde las jvas de plástico y se sitúan de forma ordenada para ingresar a la lavadora, equipo en donde, al finalizar, la botella se presenta limpia, inocua y sin etiqueta para continuar su curso. Luego, la botella atraviesa una inspección visual a través de una pantalla, y un equipo de espectro visión, etapas con las cuales se garantiza la higienización de la botella. Aprobado este trayecto, la botella es llenada con el producto gestionado por la máquina llenadora, luego es tapada, etiquetada, codificada con tinta, y encajonada para su posterior transporte y distribución.

Para comenzar a utilizar la cadena de producción n°3, en una primera instancia se debe ingresar el agua blanda a los estanques de enjuague inicial y final. Esto se realiza, en sentido opuesto al que se dirigen las botellas en su lavado, como muestra la línea celeste en la figura n° 42.

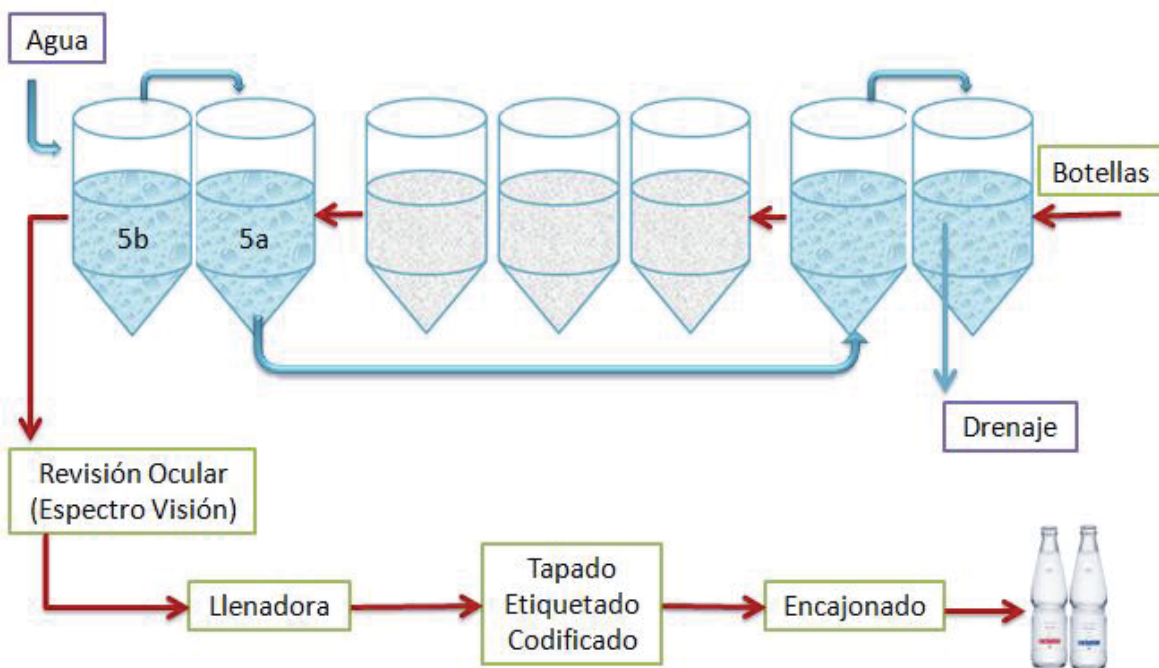


Figura 42. Diagrama de Flujo General en Línea de Producción n° 3.

Una vez acondicionados los estanques de soda (llegar a la temperatura requerida en cada estanque) y llenados los estanques de enjuague (los cuales se mantienen en renovación de solución constantemente, es decir, ingresa agua blanda al estanque 5b y se envía a drenaje durante todo el periodo de tiempo que funcione la lavadora), se procede a iniciar la cadena de producción, general, mostrada en la figura n° 40. Cabe señalar, que las soluciones de soda presentes en los tres estanques

intermedios, no se botan al finalizar la producción, éstas se mantienen por un tiempo en que se comprueba que la solución se encuentra en condiciones de operar. Esto se confirma midiendo los carbonatos presentes en las mezclas, si éstos exceden el 3%, significa que la disolución está sucia y se deben preparar nuevamente.

La lavadora en particular, opera con 7 estanques internos, como se muestra en la figura n° 42, los cuales producen la esterilización de la botella a utilizar, atravesando dos estanques iniciales de pre – enjuague y enjuague, respectivamente, y los cuales contienen una solución clorada en su interior, en donde se busca remover toda impureza contenida en las botellas recicladas, ya sea sólido o líquido. Posterior a esto, la botella pasa por los tres estanques de soda en solución con concentraciones de entre 1,8 – 2,8%, 2,5 – 2,8% y 1,5 – 2,8% respectivamente. Aquí, se busca retirar la etiqueta presente en las botellas, y el residuo de suciedad que permanezca en la botella. Finalmente, la botella atraviesa dos estanques finales de enjuague, llamados 5a y 5b, los cuales también contiene una solución clorada en su interior, con una concentración de 0,3 – 0,7 ppm y 4,0 – 6,0 ppm respectivamente, en donde se lava la botella por inyección de esta solución, por lo que busca remover la soda presente en ellas y el residuo de material existente.

Es importante mencionar que estos 7 estanques operan dentro de un rango de temperaturas al producir botellas de tipo retornables, las cuales se encuentran especificadas en la tabla n° 36. Se busca operar en estas condiciones para garantizar una buena disolución de la soda (en el caso de los estanques de soda), y un óptimo trabajo de limpieza y remoción de basura y de la etiqueta en los estanques.

**Tabla 36. Especificación de la Temperatura de Trabajo en estanques de la Lavadora para la producción de botellas retornables.**

Identificación del Estanque	Temperatura de Trabajo [°C]
Estanque 1 de Pre – Enjuague	60 – 65
Estanque 2 de Enjuague	70 – 80
Estanque de soda 1	70 – 80
Estanque de soda 2	65 – 70
Estanque de soda 3	40 – 50
Estanque de enjuague final 5a	~ 30
Estanque de enjuague final 5b	Ambiente

Se advierte que la temperatura comienza a disminuir mediante la botella se acerca a la salida de la lavadora, esto con la intención de acondicionarla a una temperatura adecuada para el posterior llenado con agua ozonizada o carbonatada, según sea el caso, que se encuentra cercana a los 18°C. Así, se cerciora que la botella no presentará daños en su estructura por un cambio brusco de temperatura. Por el contrario, cuando se trabaja con botellas de tipo desechables, no se adiciona temperatura a los estanques, ya que este formato posee una estructura más delgada y propensa a romperse con un cambio de temperatura.

Posterior al trabajo realizado por la Lavadora, se realizan dos para verificar su higienización. Se adiciona azul de metileno, para verificar la limpieza al interior de la botella, y fenolftaleína para indicar si existe algún arrastre de soda en ésta. Además de ensayos posteriores como la revisión ocular o espectro visión de botella vacía y de botella llena, detección de metales y nivel de llenado.

## ANEXO C

### C-1 Estimación Costo Total de Inversión

Como se especifica en el capítulo V, punto 5.1, se toma como base una cotización realizada en TPH Ingeniería Ltda. el año 2009, mostrados en la figura n° 43 y 44, para los costos de los equipos principales de este proyecto, y se llevan al presente mediante el Método de los Costos Indexados. Para el caso de la bomba, en donde además cambia su capacidad, se añade el Método del Escalamiento por Capacidad.



Señores: **ECUSA**  
Atención: Sr. Fernando Alvear

Fax:

Fono :

Página 1 de 2

Fecha:

27-jul-09

Cotización N° 09-184

Tendido red de tuberías de acero inox y accesorios para recuperación de Aguas

Item	Cant.	Descripción	Precio/Unitario	Precio/Total
			\$	\$
1	1	Sistema centralizado diseñado para recuperar Aguas desde diferentes equipos en servicio en planta Ecusa, como ser: .-Último enjuague de las Lavadoras de Botellas N° 1,2 y 4 .-Rinse de las Llenadoras N° 3,5,9 y 10		
		El proyecto podría incluir el uso de equipos ex Planta Talcahuano como ser: .-Estanque de acumulación de Fibra de 23 m <sup>3</sup> .-Bombas centrífugas de 2 y 4 HP .-Depositos en acero inox para ser usados como estanques de balance. .-Red de tubos existentes en acero inox.		
		La valorización de este proyecto es la siguiente:		
4		Tolvas en acero inoxidable, necesarias para recuperación del agua generada en los Rinses, esta se contempla con un receptor conico circular, con descargas inferiores que seran canalizadas hasta el estanque de balance.	850.000	3.400.000

Figura 43. Cotización Proyecto similar, por ECCUSA en 2009

150	Mts de tubo inox en 21/2" para utilizar con matriz recolectora	13.500	2.025.000
	Aguas		
130	Mts de tubo inox en 11/2", para utilizarla como descargas de los estanques de balance	7.500	975.000
7	Estanques de balance de 80 litros con control de nivel superior e inferior	450.000	3.150.000
7	Bombas centrifugas de 2 HP para un flujo de 5 m3/h y 20 mca	950.000	6.650.000
1	Bomba centrifuga para un flujo de 15 m3/h y una presion de 4 bar, con una potencia de motor de 7,5 HP	1.450.000	1.450.000
7	Valvulas de retencion en 11/2"	115.000	805.000
1	Valvulas de retencion en 2"	125.000	125.000
14	Valvulas mariposa en 11/2"	55.000	770.000
2	Valvulas mariposa en 2"	65.000	130.000
8	Manometros con valvulas de servicio	35.000	280.000
1	Conjunto de soportes en acero en 3"	150.000	150.000
1	Conjunto de soportes en acero en 11/2"	90.000	90.000
1	Insumos, gses, soldaduras, discos de corte	687.500	687.500
1	Mano de obra especializada	4.860.000	4.860.000
2	1 Gastos generales y utilidad		3.832.125

**TPH**  
INGENIERIA Ltda.

		Valor Neto \$	29.379.625
		19% IVA \$	5.582.129
		Valor Total \$	34.961.754

Figura 44. Cotización Proyecto similar, por ECCUSA en 2009 (Continuación).

De esta forma, se utilizan los datos mostrados en las tablas n° 37 y 38.

Tabla 37. Indicadores Indexados.

Año	Índice Indexado
2009 ( $I_o$ )	1525,3
2016 ( $I_p$ )	2057,3

Tabla 38. Índice de Escalamiento por Capacidad.

Equipo	Índice Capacidad (X)
Estanque	-
Bomba	0,69
Filtro	-

Utilizando las ecuaciones mostradas en el punto 5.1 se llega a los costos FOB de los equipos, luego se llevan a los costos CIF considerando que aumentan de un 25-30% para este último, los cuales son mostrados en la tabla siguiente.



Equipo	Costo Original [\$]	Costo FOB Actualizado [\$]	Costo CIF Actualizado [\$]
Estanque	1.350.000	1.820.858	2.276.073
Bomba	2.850.000	3.238.415	4.048.019
Filtro	46.000	62.044	77.555
<b>Total Costo CIF Equipos [\$]</b>			<b>6.401.647</b>

Este es el costo CIF de los equipos principales sin considerar el iva en ellos.

A continuación se muestra el costo de instalación de éstos (mostrados en el capítulo V), en base a los porcentajes establecidos en el libro de Peter & Timmerhaus, para luego calcular el costo total de inversión del proyecto.

Equipo	Costo Instalación % Costo Equipo	Costo de Instalación [\$]
Estanque	20	455.215
Bomba	30	1.214.406
Filtro	65	50.411
<b>Total Costo Instalación Equipos [\$ CLP]</b>		<b>1.720.031</b>

		% Costo CIF Equipos	Costo Estimado [\$]
<b>Costos Directos</b>	Costo Equipos entregados	100	6.401.646
	Instalación Equipos	-	1.720.031
	Instrumentación y Control	3	192.049
	Cañerías instaladas	66	4.225.086
	Sistemas Eléctricos	11	704.181
	Edificación	-	-
	Servicios de Planta	-	-
	Terrenos	-	-
	Preparación de Terreno	4	256.066
		<b>Total Capital Fijo Directo [\$]</b>	<b>13.499.060</b>
<b>Costos Indirectos</b>	Supervisión e Ingeniería	10	640.165
	Gastos de Construcción	5*	674.953
	Honorarios de Contratista	2*	269.981
	Gastos Legales	1	64.016
	Contingencias	5	320.082
		<b>Total Capital Fijo Indirecto [\$]</b>	<b>1.969.198</b>
		<b>Total Capital Fijo [\$]</b>	<b>15.468.257</b>
		<b>Capital de Trabajo (15% TCI) [\$]</b>	<b>2.729.692</b>
		<b>Total Capital de Inversión [\$ CLP]</b>	<b>18.197.950</b>

## ANEXO D

Gráficos utilizados para los cálculos realizados en el dimensionamiento de cañerías y bomba para el proyecto estudiado, mostrados en las figuras n° 45, 46 y 47.

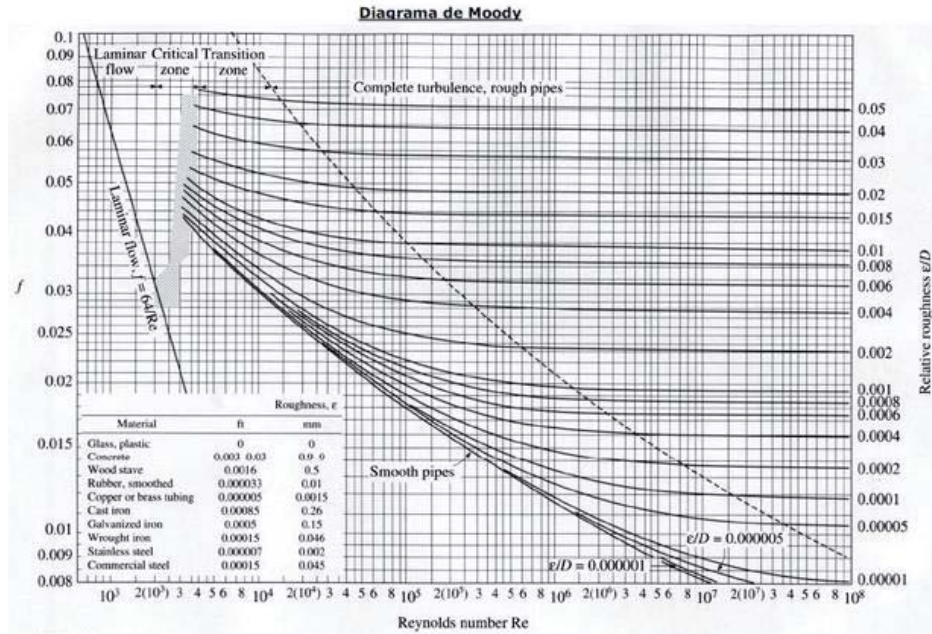


Figura 45. Gráfico de Moody para la obtención del factor de fricción

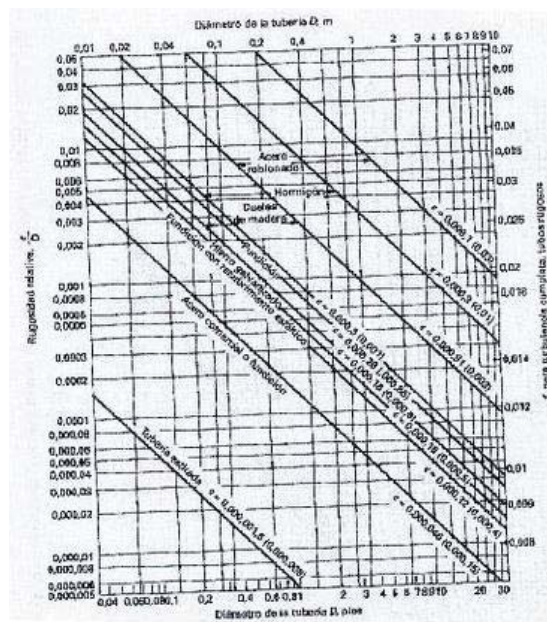


Figura 46. Gráfico Rugosidad Relativa para las tuberías de materiales utilizados en ingeniería

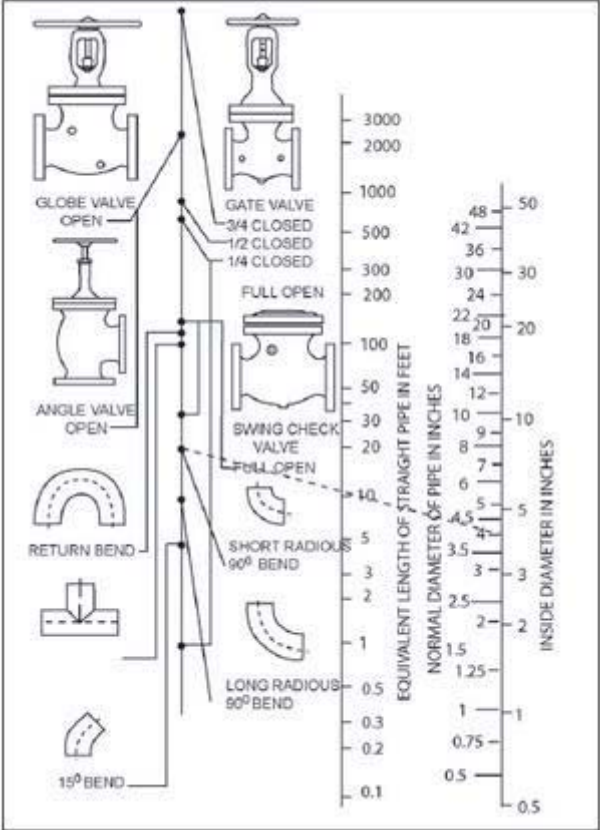


Figura 47. Largos Equivalentes para válvulas y fittings