



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA, BIOTECNOLOGÍA Y
MATERIALES

REDUCCIÓN DEL USO DE AGUA EN UNA PLANTA DE CELULOSA: ANÁLISIS
TÉCNICO Y PROPUESTA DE MEJORA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL QUÍMICO

NICOLÁS OSVALDO MEISENBICHLER REQUENA

PROFESOR GUÍA:
J. CRISTIAN SALGADO HERRERA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
FELIPE DÍAZ ALVARADO
FRANCISCO GRACIA CAROCA

Este trabajo fue financiado por la empresa Celulosa Arauco y Constitución

SANTIAGO DE CHILE
2020

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE:** Ingeniero Civil Químico
POR: Nicolás Osvaldo Meisenbichler Requena
FECHA: 12/01/2020
PROFESOR GUIA: J. Cristian Salgado

REDUCCIÓN DE USO DE AGUA EN UNA PLANTA DE CELULOSA: ANÁLISIS TÉCNICO Y PROPUESTA DE MEJORA

El agua dulce es un recurso renovable pero no inagotable; es considerado el epicentro del desarrollo sostenible y fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía y la producción de alimentos, los ecosistemas saludables y la supervivencia misma de los seres humanos. Con el pasar de los años se ha visto un aumento de su uso a nivel global, a pesar de que actualmente, debido a los efectos del cambio climático, los eventos de escasez hídrica son cada vez más frecuentes.

Dentro de la industria de la celulosa y el papel, el agua toma un rol importante, ya que es utilizada en casi todas las etapas de producción. Una planta de celulosa puede llegar a tomar de una fuente natural millones de metros cúbicos por año y, debido al escenario actual de disponibilidad de agua, es que surge la preocupación de cómo es posible gestionar de manera eficiente el uso del recurso hídrico.

El siguiente trabajo tiene como propósito evaluar el consumo de agua en las distintas áreas de la planta Constitución de la Celulosa Arauco y analizar escenarios de mejoras técnicas orientadas a reducir y reaprovechar el recurso. Para cumplir los objetivos fue necesario determinar los circuitos de agua en operación normal, realizar balances de agua en cada área productiva, efectuar mediciones de flujos y hacer análisis de calidad de agua. Adicional a esto se tomó como guía estudios ya realizados en este campo, con el fin de generar una buena estrategia de reducción del uso de agua en la planta de celulosa.

Como resultado, fue posible evaluar el uso de agua en la planta Constitución, obteniendo una mirada más actualizada de los circuitos de agua, identificando fuentes importantes de recuperación y con ello, generar un conjunto de propuestas de mejora orientadas a recuperar, retratar y reincorporar el recurso hídrico. Esto permitiría reducir en un 17% el uso de agua en la planta Constitución, lo que se traduce en un ahorro de \$13.532.379 mensual. Adicional a ello y dadas las similitudes de los procesos con respecto a otras plantas de la empresa Arauco, también es posible replicar estas medidas, generando un impacto importante en el ámbito del uso de agua en la industria química.

A mi tata Alfonso Requena

Que cada día que pasa no dejo de echarlo de menos.

Agradecimientos

En primer lugar, quisiera agradecer a mi familia, por estar siempre presentes y dispuestos a apoyarme durante todos mis años de estudio, en especial a mis padres porque sin ellos no habría llegado hasta donde hoy estoy.

A Mariajosé Entrala por ayudarme con la escritura de este trabajo y ser una persona importante en mi formación como persona y profesional durante estos últimos años.

A la empresa Arauco Constitución por darme la oportunidad de trabajar con ellos, a todos los superintendentes de la planta, en especial a Jorge Zúñiga y Ángela Zamorano por guiarme en este trabajo, a Jorge Mesa por su entusiasmo e interés y finalmente a todos los operadores, ayudantes y volantes que me dieron su tiempo para responder todas mis consultas sin esperar nada a cambio.

A J. Cristian Salgado por ser mi profesor guía, por generar las instancias de seguimiento de mi trabajo, por su preocupación y sus comentarios que me ayudaron a realizar este proyecto.

Al PMDC Lab por ser un espacio ameno para compartir y generar una mutua retroalimentación.

Y por último a mi gato Nicanor, que siempre me hizo compañía hasta altas horas de la noche.

Tabla de Contenido

1	Introducción.....	1
1.1	Proceso de producción de celulosa kraft	1
1.2	Celulosa Arauco	3
1.3	Motivación	4
2	Objetivos	5
2.1	Objetivo general.....	5
2.2	Objetivos Específicos	5
3	Marco Teórico y Antecedentes	6
3.1	Importancia del agua y su consumo.....	6
3.1.1	Contexto Internacional	6
3.1.2	Contexto Nacional.....	6
3.1.3	Contexto Regional.....	7
3.2	El uso de agua en actividades productivas	8
3.2.1	Contexto General.....	8
3.2.2	Uso del agua en la industria de la celulosa	9
3.3	Reducción del uso de agua	16
3.4	Generar una propuesta de mejora	18
3.5	Escoger una cartera de propuestas de mejora	20
4	Metodología.....	21
4.1	Establecimiento de áreas de producción	21
4.2	Levantamiento de circuitos de agua	21
4.3	Cuantificación de Flujos.....	22
4.3.1	Materiales y equipos utilizados	22
4.4	Balances de circuitos de agua	23
4.5	Medición de parámetros de calidad de agua	23
4.6	Identificar una oportunidad de reducción del uso de agua.....	23
4.7	Evaluación económica	24
4.8	Propuestas de mejora	24
4.9	Escoger cartera de propuestas	25
5	Resultados y Discusión	25
5.1	Estado de la Planta	25

5.1.1	Tipos de agua en la Planta Constitución	25
5.1.2	Área Planta de Agua y Captación	27
5.1.3	Área Tratamiento de Agua para Calderas	30
5.1.4	Área Caldera Recuperadora	34
5.1.5	Área Caldera de Poder	38
5.1.6	Área Generación Eléctrica	39
5.1.7	Área Preparación Maderas.....	41
5.1.8	Área Digestores.....	42
5.1.9	Área Lavado y Clasificación	45
5.1.10	Área de Secado	47
5.1.11	Área Evaporadores.....	50
5.1.12	Área de Caustificación y Horno de Cal	52
5.1.13	Área Tratamiento de Efluentes	56
5.2	Evaluación Económica	59
5.2.1	Impacto de Reducción del uso de Agua.....	59
5.2.2	Otros Costos	62
5.2.3	Características del Agua Identificada	62
5.3	Propuestas de Mejora.....	64
5.3.1	Área Planta de Agua.....	64
5.3.2	Área Tratamiento de Agua para Calderas	65
5.3.3	Área Evaporadores.....	81
5.3.4	Área Digestores, Lavado y Clasificación	84
5.3.5	Área Caldera de Poder	88
5.3.6	Área Caldera Recuperadora	89
5.3.7	Área Caustificación y Horno de Cal.....	91
5.3.8	Área Tratamiento de Efluentes	94
5.3.9	Área Turbogenerador	96
5.3.10	Área de Secado	97
5.4	Tipos de propuestas.....	99
5.5	Priorizar la Realización de Proyectos	101
5.5.1	Planteamiento del Problema	101
5.5.2	Variables de decisión:	103

5.5.3	Restricciones:	103
5.5.4	Función Objetivo.....	104
5.6	Comentarios generales.....	106
6	Conclusiones	106
7	Bibliografía.....	109
8	Anexos	116
8.1	Anexo A	116
8.2	Anexo B	119
8.3	Anexo C	122
8.4	Anexo D	124
8.5	Anexo E	127
8.6	Anexo F	129
8.6.1	Área de Captación de Agua	129
8.6.2	Área de Planta de Agua	130
8.6.3	Red de Incendio	136
8.6.4	Área tratamiento de Agua para Calderas.....	141
8.6.5	Área de Caldera Recuperadora	148
8.6.6	Área Caldera de Poder.....	150
8.6.7	Área Generación eléctrica	151
8.6.8	Área Preparación Maderas.....	154
8.6.9	Área de Digestores	156
8.6.10	Área de Lavado y Clasificación.....	159
8.6.11	Área de Secado	160
8.6.12	Área de Evaporadores	163
8.6.13	Área Horno de Cal y Caustificación.....	164
8.6.14	Área Planta de Efluentes.....	165
8.7	Anexo G.....	172

Índice de Figuras

Figura 1.1: Proceso de producción de celulosa kraft	2
Figura 1.2: Proceso de recuperación kraft	3
Figura 1.3: Consumo específico promedio de agua en Arauco	5
Figura 3.1: Estado capacidad de laguna Maule	7
Figura 3.2: Estado de caudal del río Maule	8
Figura 3.3: Extracción de agua mundial	9
Figura 3.4: Consumo específico de agua en Planta Constitución.....	12
Figura 3.5: Balance de masa de agua en planta de celulosa	13
Figura 5.1: Consumo de agua en Planta Constitución 2018	28
Figura 5.2: Distribución de agua en Planta de Agua	29
Figura 5.3: Distribución de agua en área de Desmineralizado.....	32
Figura 5.4: Distribución de agua en Caldera Recuperadora	34
Figura 5.5 Distribución de agua en Sistema de Refrigeración de material fundido de Caldera Recuperadora	35
Figura 5.6: Distribución de agua sello en Caldera Recuperadora	36
Figura 5.7: Distribución de agua en Caldera de Poder	38
Figura 5.8: Distribución de agua en el área de Preparación Maderas	42
Figura 5.9: Distribución de agua caliente área de Digestores.....	43
Figura 5.10: Distribución de agua en área de Digestores	44
Figura 5.11: Distribución de agua en el área de Lavado y Clasificación	45
Figura 5.12: Distribución de agua en área de Secado	48
Figura 5.13: Historial de consumo de agua fría en el Área de Secado	49
Figura 5.14: Historial de consumo de agua caliente en el Área de Secado ..	49
Figura 5.15: Distribución de agua en área de Evaporadores	51
Figura 5.16: Flujo de refrigeración de Horno de Cal	53
Figura 5.17: Distribución de agua global en área de Caustificación.....	54
Figura 5.18: Desempeño del área de Caustificación	55
Figura 5.19: Distribución de agua en Clarificador 1º.....	58
Figura 5.20: Flowsheet de modificaciones Planta Constitución	61
Figura 5.21: Esquema línea de retorno	65
Figura 5.22: Esquema de recuperación de agua de rechazo de osmosis	67
Figura 5.23: Esquema de recuperación de rechazo de osmosis	69
Figura 5.24: Ubicación de línea de recuperación	69
Figura 5.25: Esquema de recuperación de rechazo de osmosis	70
Figura 5.26: Esquema de recuperación de rechazo de osmosis	71
Figura 5.27: Esquema de funcionamiento de mallas limpiantes	73
Figura 5.28: Ubicación línea de entrada de agua.....	73
Figura 5.29: Esquema de recuperación de agua de lavado	75
Figura 5.30: Ubicación de línea de recuperación	76
Figura 5.31: Ubicación de estanque propuesto y línea de desagüe	78

Figura 5.32: Esquema de recuperación de agua.....	80
Figura 5.33: Esquema de recuperación de agua sello	82
Figura 5.34: Esquema de recuperación de agua por canaletas auxiliares....	85
Figura 5.35: Esquema de recuperación de agua sello	86
Figura 5.36: Ubicación de puntos de recuperación	88
Figura 5.37: Ubicación puntos de recuperación.....	90
Figura 5.38: Ubicación fuentes de agua a recuperar	90
Figura 5.39: Esquema de recuperación de aguas para Caustificación.....	93
Figura 5.40: Línea propuesta de retorno	94
Figura 5.41: Dimensiones de sistema de recuperación de aguas	95
Figura 5.42: Ubicación pozo de recuperación en desuso	97
Figura 5.43: Ubicación puntos de recuperación de agua	99
Figura 8.1: Flowsheet de la Planta Constitución	118
Figura 8.2: Registro de conductividad en pantalla DCS Área Secado.....	122
Figura 8.3: Registro de conductividad en pantalla DCS Área Digestores	122
Figura 8.4: Registro de conductividad en pantalla DCS Área Evaporadores	123
Figura 8.5: Caudal de agua en la Planta Constitución 2019	133
Figura 8.6: Distribución de agua en intercambiadores de calor	135
Figura 8.7: Estado de almacén de agua en Red de Incendios año 2018	137
Figura 8.8: Estado de almacén de agua en Red de Incendios año 2019	138
Figura 8.9: Estado de almacén de agua en red de incendio	139
Figura 8.10: Esquema perdidas de condensados.....	147
Figura 8.11: Esquema de funcionamiento de caldera recuperadora	148
Figura 8.12: Reacciones químicas en una caldera recuperadora	149
Figura 8.13: Circuito de agua en colectores	153
Figura 8.14: Proceso de producción de astillas	155
Figura 8.15: Distribución de agua en área de Secado	162
Figura 8.16: Distribución de agua en etapa de Neutralización.....	166
Figura 8.17: Distribución de agua en etapa Clarificador 2º.....	168
Figura 8.18: Distribución de agua en etapa de Tratamiento de Lodos	170

Índice de Tablas

Tabla 1.1: Áreas de planta Constitución.....	4
Tabla 3.1: Consumos de agua de plantas de celulosa en EEUU	10
Tabla 3.2: Consumos de agua en empresas de celulosa.....	11
Tabla 3.3: Usos de agua en la industria de la celulosa	14
Tabla 3.4: Aditivos de uso corriente en la industria de la celulosa	16
Tabla 5.1: Tipos de agua y parámetros de calidad	26
Tabla 5.2: Medición de flujos de puntos de muestreo de Planta de Agua	29
Tabla 5.3: Parámetros de calidad de agua de lavado	31
Tabla 5.4: Parámetros de calidad de agua de rechazo de osmosis.....	33
Tabla 5.5: Eventos de purga de condensados	33
Tabla 5.6: Parámetros de calidad de agua de refrigeración de canaletas	37
Tabla 5.7: Parámetros de calidad de agua de refrigeración de gases	37
Tabla 5.8: Parámetros de calidad de agua sello	37
Tabla 5.9: Parámetros de calidad de agua refrigeración de ventilador	39
Tabla 5.10: Flujos según porcentaje de abertura de válvula	39
Tabla 5.11: Parámetros de calidad de agua sello	44
Tabla 5.12: Parámetros de calidad de agua sello	46
Tabla 5.13: Flujo de agua en Área de Secado.....	47
Tabla 5.14: Parámetros de calidad de agua de pozo.....	52
Tabla 5.15: Parámetros de calidad de agua refrigeración Horno de Cal	56
Tabla 5.16: Parámetros de calidad de agua Clarificador 1º.....	58
Tabla 5.17: Balance de pérdidas económicas	60
Tabla 5.18: Dimensiones de bombas de impulsión requeridas	95
Tabla 5.19: Medidas generales y acción requerida	99
Tabla 5.20: Categorías de propuestas de mejoras.....	100
Tabla 8.1: Número de áreas de producción	116
Tabla 8.2: Código según equipo	116
Tabla 8.3: Mediciones bombas con agua sello	119
Tabla 8.4: Mediciones bombas con agua sello continuación	120
Tabla 8.5: Mediciones bombas con agua sello	121
Tabla 8.6: Costos de reactivos químicos	124
Tabla 8.7: Cantidad de reactivos químicos utilizados.....	124
Tabla 8.8: Costos cuantificados por reactivos	125
Tabla 8.9: Costos y consumos de electricidad.....	125
Tabla 8.10: Costo específico de electricidad	126
Tabla 8.11: Parámetros de calidad de agua.....	130
Tabla 8.12: Parámetros de calidad de agua.....	131
Tabla 8.13: Red Prioritaria.....	132
Tabla 8.14: Red no Prioritaria	132
Tabla 8.15: Consumo de agua en Red de Incendios	138

Tabla 8.16: Registro del uso de la Red de Incendios	140
Tabla 8.17: Parámetros de calidad de agua.....	142
Tabla 8.18: Uso de agua en procedimiento de mantención.....	144
Tabla 8.19: Tipos de calidad de celulosa producida	154
Tabla 8.20: Parámetros de calidad de agua blanca, Octubre 2019.....	163
Tabla 8.21: Parámetros de calidad de agua efluentes	167
Tabla 8.22: Parámetros de calidad de agua efluentes rechazados	171

1 Introducción

El presente capítulo tiene como finalidad entregar el contexto en el que se enmarca el trabajo de memoria.

Debido a la intensificación de los efectos del cambio climático, entre ellos la escasez hídrica, es que en la actualidad la gestión eficiente del agua representa uno de los mayores desafíos de la industria, en especial para los sectores agrícola y forestal [1].

Específicamente en el caso de la producción de celulosa, el agua cumple un rol fundamental, debido a las múltiples funciones que desempeña a lo largo del proceso productivo. Ejemplo de esto, es el transporte de licores de cocción diluidos; el transporte de pulpa de celulosa a procesos de lavado y secado; la limpieza de equipos y áreas de producción; el transporte de energía (intercambiadores de calor, generación de vapor para producir electricidad, refrigeración de bombas de impulsión) y como agente humectante en el riego de troncos [2].

Con el fin de poder elaborar estrategias efectivas en la reducción del uso de este recurso en una planta de celulosa, se cree que es importante primero conocer cómo se utiliza el agua dentro de la operación; los circuitos locales por donde fluye el recurso hídrico y también las características de las aguas, como turbidez, conductividad, temperatura y pH. De esta manera es posible abordar medidas de reutilización, retratamiento y reincorporación del agua dentro del proceso.

Dentro de su visión corporativa, Arauco se ha planteado como objetivo el contribuir a mejorar la vida de las personas, desarrollando productos forestales para los desafíos de un mundo sostenible. Debido a ello y a la importancia de resguardar el medio ambiente, surge la necesidad de estudiar el uso de agua de la Planta Constitución con miras a reducir su consumo [3].

1.1 Proceso de producción de celulosa kraft

El proceso de cualquier empresa dedicada al rubro de la celulosa kraft está compuesto por tres grandes áreas: línea de celulosa, línea de recuperación y línea de tratamiento de efluentes. La madera tiene una estructura fibrosa, formada básicamente por celulosa y lignina [4].

El proceso de la línea de celulosa se inicia descortezando los troncos de madera y formando astillas o chips. Estos se llevan a digestores, los cuales funcionan a alta presión y temperatura. Allí los chips se cuecen en presencia de licor blanco (mezcla de NaOH y Na₂S) como se muestra en la Figura 1.1, para poder recuperar la fibra de la celulosa y el licor negro [5].

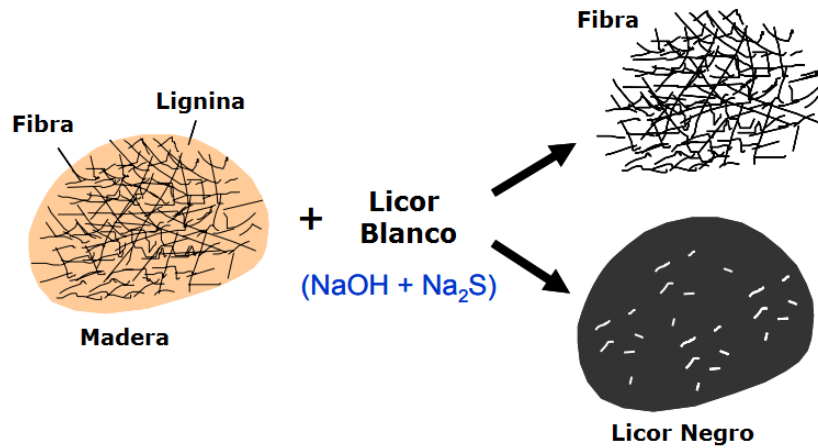


Figura 1.1: Proceso de producción de celulosa kraft [5]

Del proceso de digestores se obtiene por un lado el licor negro (lignina y licor blanco) que, debido a su alto poder calorífico de $9.378,4 \text{ MJ/m}^3$ [6], se utiliza como combustible para generar energía eléctrica y, por otro lado, se obtiene la pasta de celulosa, como se muestra en la Figura 1.1. Posteriormente se remueve la humedad y se forman las planchas de celulosa que van a producto terminado.

La línea de recuperación toma la ceniza resultante de la combustión del licor negro, le añade agua y con ello se obtiene el licor verde, compuesto principalmente por Na_2CO_3 y Na_2S . Por medio de varias operaciones de separación sólido-fluido, se obtiene licor verde clarificado, el cual se hace reaccionar con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para formar NaOH , principal componente del licor blanco. Por otra parte, se genera CaCO_3 como subproducto, el cual se usa para alimentar un horno giratorio donde ocurre una reacción de calcinación para posteriormente obtener $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Este último es ocupado nuevamente para la reacción de producción de licor blanco (Caustificación).

En la figura 1.2 se resume estas dos líneas de producción:

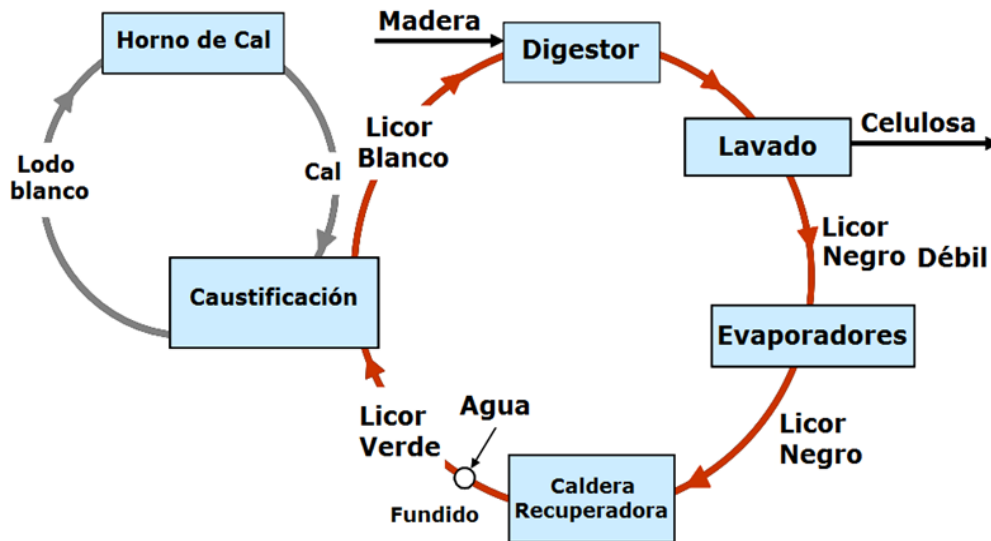


Figura 1.2: Proceso de recuperación kraft [5]

La línea de tratamiento de efluentes cumple el objetivo de tratar los residuos líquidos generados por las demás áreas. El proceso inicia con una etapa de neutralización y luego, por medio de un tratamiento primario, se separan los sólidos gruesos. Aquí el agua se envía a un sistema de estanques de equalización, donde se verifica que el efluente sea apto para pasar al tratamiento biológico con bacterias. En esta etapa se requiere de una temperatura y composición adecuada para que los microorganismos puedan degradar la materia orgánica. Una vez terminada esta etapa, es necesario remover los lodos activados que se generaron por medio de clarificadores, el efluente tratado finalmente se retorna al medio ambiente.

1.2 Celulosa Arauco

Celulosa Arauco y Constitución (conocida simplemente como Arauco) es una empresa forestal creada en septiembre de 1979 a partir de la fusión de las compañías Celulosa Arauco S.A. y Celulosa Constitución S.A. La empresa actualmente se dedica a la fabricación de pulpa de celulosa y derivados como madera aserrada y paneles. A nivel nacional tiene presencia en las localidades de Constitución, Licancel, Valdivia, Arauco y Nueva Aldea [7].

La planta Constitución está ubicada en la Región del Maule en la ciudad de Constitución, la cual se encuentra a 364 km al Sur de Santiago. Tiene una capacidad productiva anual de 355.000 toneladas métricas de celulosa kraft cruda de pino radiata [7] y está compuesta por las siguientes áreas:

Área	Objetivo
Preparación Maderas	Producir astillas para digestores
Digestores, Secado, Lavado y Clasificación	Producir pulpa celulosa
Planta de Tratamiento de Efluentes	Tratar riles de la planta
Evaporadores	Concentrar licor negro
Caustificación	Producir licor blanco
Horno de Cal	Producir insumos para Caustificación
Caldera Recuperadora	Producir licor verde y vapor de agua
Caldera de Poder	Producir vapor de agua
Turbogenerador	Generar energía eléctrica
Bocatoma	Captar agua del río Maule
Planta de Agua	Producir agua industrial
Tratamiento agua para Calderas	Producir agua desmineralizada para Calderas

Tabla 1.1: Áreas de planta Constitución [8]

1.3 Motivación

El siguiente trabajo cuenta con la motivación personal de aplicar el conocimiento adquirido durante la carrera de Ingeniería Civil Química a un desafío real y atingente a una gran mayoría de procesos industriales, que es el reducir el uso de agua en una planta química.

Debido al aumento de los escenarios de escasez hídrica a nivel global y de la creciente preocupación por los efectos que está generando el cambio climático es que actualmente existe un mayor interés por el cómo las empresas pueden gestionar de mejor forma sus recursos naturales.

En Chile, la demanda hídrica de la industria de celulosa equivale a alrededor de un 30% de la demanda total de naturaleza industrial. Entre 1996 y 2002, la industria de la celulosa ha aumentado en más de cuatro veces la cantidad total de derechos de aprovechamiento de recursos hídricos. En la actualidad se estima que a nivel nacional las empresas ligadas al rubro de la celulosa consumen en promedio 40 m³/ADT¹, mientras que en la década de 1980 el consumo de agua solía estar por sobre los 130 m³/ADT [9].

Actualmente la Planta Constitución está interesada en que sus consumos de agua sean evaluados con miras a reducir su uso, debido a que entre el año 2016 y 2018 su consumo de agua llegó a un promedio de 57

¹ El término ADT hace referencia a su sigla en inglés Air Dry Tons, comúnmente utilizado para referirse a tonelada de celulosa seca producida.

m³/ADT, superior al promedio de todas las plantas de la compañía durante ese período como se puede apreciar en la Figura 1.3.



Figura 1.3: Consumo específico promedio de agua en Arauco [10]

Es en este contexto que se enmarca el trabajo vinculado a la empresa de Celulosa Arauco Planta Constitución, como una oportunidad de evaluar y gestionar la sustentabilidad de proyectos asociados a un uso eficiente de un recurso natural y así mejorar el proceso de producción de celulosa, en base a futuros requerimientos técnicos, económicos, sociales y/o ambientales.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar el consumo de agua de la planta Constitución y analizar escenarios de mejoras técnicas orientadas a reducir y reaprovechar el recurso hídrico.

2.2 Objetivos Específicos

- Evaluar y analizar circuitos de agua de la planta Constitución.
- Identificar líneas de producción con mayor consumo de agua y cuantificar recurso hídrico disponible a recuperar.
- Generar cartera de mejoras operacionales para cada área.
- Cuantificar impacto del nuevo escenario de reaprovechamiento del recurso hídrico para la planta Constitución.

3 Marco Teórico y Antecedentes

3.1 Importancia del agua y su consumo

3.1.1 Contexto Internacional

Hasta la fecha, el método principal para estimar el consumo de agua ha sido el uso de coeficientes de consumo de agua, valores generalmente acordados en menos de la unidad, que se multiplican por la ingesta total de agua para estimar las pérdidas de agua consumidas en una instalación [11].

El agua dulce es un recurso renovable pero no inagotable, considerado el epicentro del desarrollo sostenible y fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía y la producción de alimentos, los ecosistemas saludables y la supervivencia misma de los seres humanos. El agua también forma parte crucial de la adaptación al cambio climático y es el vínculo crucial entre la sociedad y el medioambiente [12].

En todo el mundo, la actividad humana y los factores naturales están agotando los recursos hídricos disponibles. La presión sobre ellos está aumentando, principalmente como resultado de actividades humanas tales como la urbanización, el crecimiento demográfico, la elevación del nivel de vida, la creciente competencia por el agua y la contaminación, cuyas consecuencias se ven agravadas por el cambio climático y las variaciones en las condiciones naturales [13].

Por otro lado, la Organización Mundial de la Salud (OMS) afirma que de aquí a 2025, la mitad de la población mundial vivirá en zonas con escasez de agua [14]. Por lo tanto, el uso de agua es una temática importante a abordar debido al escenario actual.

3.1.2 Contexto Nacional

En cuanto a la realidad nacional, el escenario no es muy diferente: un indicador de la creciente escasez de agua en Chile son las declaraciones de agotamiento de aguas superficiales emitidas por la Dirección General de Aguas (DGA) en las últimas décadas. Entre los años 1952 al 2015 se han dictado un total de 11 declaraciones de agotamiento, cuya área total alcanza los 76.131 km². Estas zonas figuran como fuentes naturales en donde se agotó la disponibilidad del recurso hídrico para la constitución de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas superficiales de tipo consuntivo y ejercicio permanentes [15].

3.1.3 Contexto Regional

El Maule es un río que fluye en la Región del Maule de Chile y es la principal fuente de agua para la Planta de Celulosa. Tiene una longitud de 240 kilómetros y con sus afluentes constituye la cuenca hidrográfica del río Maule que cubre alrededor de 20.300 km². Un 30% de ella se ubica por sobre la línea de nieves, lo que la hace una cuenca con un fuerte componente cordillerano [16].

El curso principal es el propio río Maule, el cual nace en la laguna del Maule, a 2.200 metros sobre el nivel del mar, peraltado de forma artificial para aumentar su capacidad de almacenamiento de agua. Tras recorrer casi 250 kilómetros, el Maule desemboca en el océano Pacífico, al norte de la ciudad de Constitución [16].

En la figura 3.1 se puede ver el estado actual de la laguna Maule, la cual ha alcanzado niveles por debajo del promedio, debido a una disminución de los caudales de deshielo a lo largo del país. En este sentido, la Dirección General de Aguas (DGA) ha pronosticado un déficit de 47% respecto al caudal promedio histórico para la temporada 2019-2020.

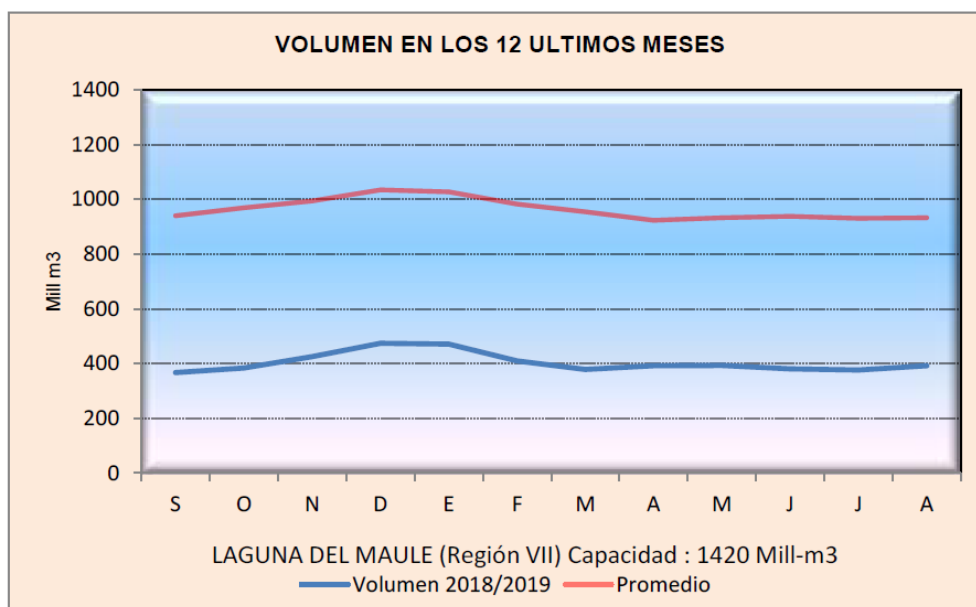


Figura 3.1: Estado capacidad de laguna Maule [17]

Este efecto se ha visto reflejado en el caudal del río Maule ya que en la actualidad se ha registrado a partir de abril de 2019, como se muestra en la figura 3.2, disminuciones considerables que a futuro podrían repercutir en la operación de la planta de Celulosa Constitución.

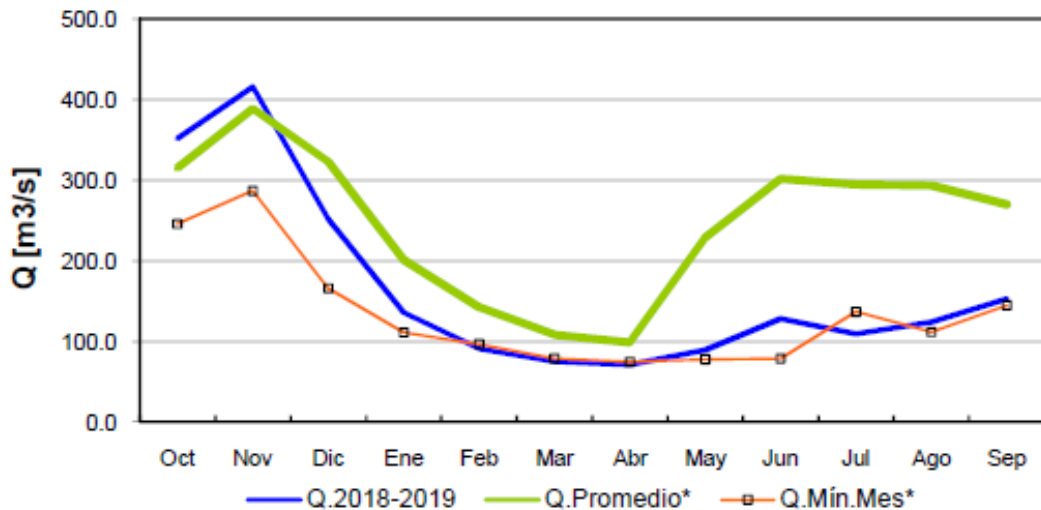


Figura 3.2: Estado de caudal del río Maule² [18]

Esta situación ambiental ha afectado a las comunidades rurales dedicadas a la agricultura y la ganadería, provocando que la región del Maule fuese declarada zona de escasez hídrica en septiembre de 2019 [19].

Esta medida se suma a la declaración de emergencia agrícola dictada por la intendencia regional para enfrentar los efectos de la sequía en la zona, aplicada a un total de nueve comunas, incluida la localidad de Constitución [20].

Es por esto que la gestión del recurso de agua cobra mayor importancia, tanto para la región como para las comunidades debido al impacto actual que tiene la escasez de agua.

3.2 El uso de agua en actividades productivas

3.2.1 Contexto General

A nivel mundial, la proporción de extracción de agua es de aproximadamente un 69% agropecuaria, un 19% industrial y un 12% municipal. Este cálculo está dado a partir de la extracción total global para cada uso y está fuertemente influenciado por aquellos países cuyo nivel de extracción de agua es muy alto en comparación a otros [21].

En la figura 3.3 se puede ver que en el último siglo ha ido en aumento la extracción del agua en general, como también la proporción correspondiente al sector industrial y agrícola.

² * Caudales Promedio y Mínimos Mensuales del periodo 1981-2010

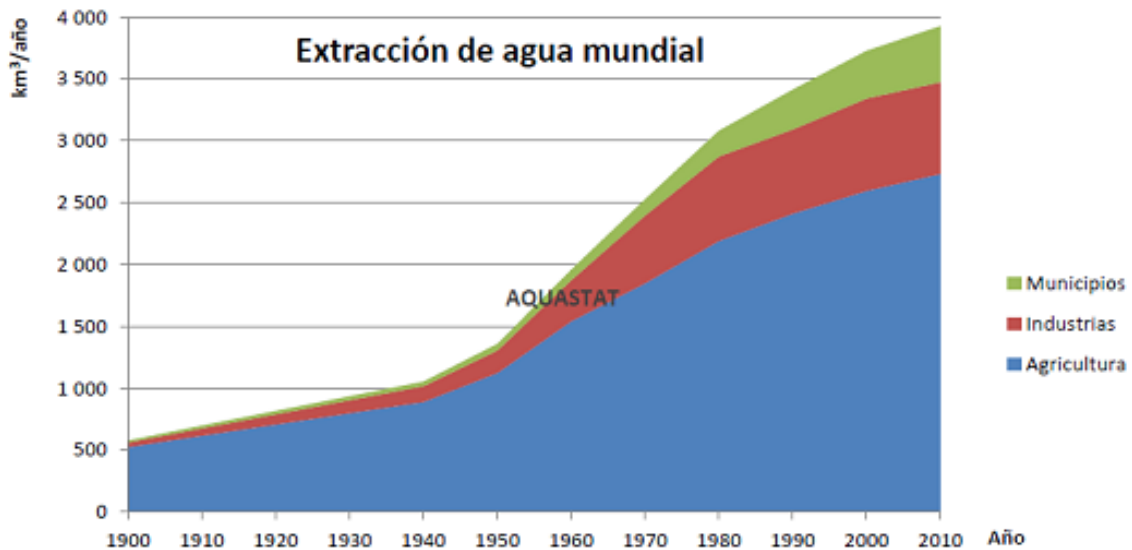


Figura 3.3: Extracción de agua mundial [21]

La industria es uno de los principales motores de crecimiento y desarrollo económico, empleando cerca del 19% del agua total extraída. De esta cantidad, más de la mitad se utiliza en las centrales termoeléctricas para procesos de enfriamiento. Entre los mayores consumidores del agua bajo este rubro se encuentran las plantas petroleras, las industrias metálica, papeleras, maderera, procesadora de alimentos y manufacturera. Se estima que la demanda global de agua para la industria manufacturera se incrementará en un 400% al 2050, centrada en economías emergentes [22].

3.2.2 Uso del agua en la industria de la celulosa

Dentro de la industria de la celulosa y el papel, el agua toma un rol importante, ya que es utilizada en casi todas las etapas de producción, desde la digestión de las astillas hasta el proceso de lavado y blanqueo de la celulosa. También es intermediaria para generar energía eléctrica por medio de turbogeneradores, razón por la que es común que plantas de celulosa estén ubicadas cerca de una fuente natural de agua [23].

La fabricación de pasta y papel requiere grandes cantidades de agua. De hecho, la industria de la celulosa y el papel es la que más consume recurso hídrico de las actividades industriales en países desarrollados [24].

Es por esto que en el rubro de la celulosa surge el consumo específico de agua como un indicador clave de desempeño, definido como la cantidad de agua ya utilizada por toneladas de celulosa producida, es decir m^3/ADT [25].

3.2.2.1 Evolución del uso del agua en la industria de la celulosa

En el pasado, las plantas de celulosa podían llegar a tener consumos de agua específicos muy superiores a los que operan las plantas actuales. Un ejemplo de esto se ve en el estudio de la Asociación Técnica de la Industria de Papel y Celulosa de EEUU del año 1939, en el cual constatan que las plantas de celulosa kraft de la época con proceso de blanqueo presentaban un consumo mínimo de 345 m³/ADT. En ese entonces la maquinaria no era muy compleja; recién a inicios de la misma década había sido inventada la caldera recuperadora por G.H. Tomlinson [26] [27].

El agua en ese entonces era abundante y los niveles de producción eran menores a los actuales. En la tabla 3.1 se puede ver la tendencia del consumo de agua en Estados Unidos entre 1959 y 1988.

Año	m ³ /ADT
1959	240
1969	156
1975	111
1979	96
1985	79
1988	72

Tabla 3.1: Consumos de agua de plantas de celulosa en EEUU [28]

Actualmente los mayores productores de celulosa son Brasil, Canadá, Estados Unidos, Chile, Indonesia, Finlandia, Suecia, Uruguay y Rusia. Estos países fueron responsables de aproximadamente el 84% de la producción mundial de celulosa en 2018, respectivamente [29].

En la tabla 3.2 se puede ver comparativamente los consumos de agua de empresas de celulosa, lo cual permite tener una visión del orden de magnitud de los consumos de agua de distintas empresas.

Empresa	Consumo de agua [m³/ADT]	Año de referencia	Capacidad de producción [ton/año]
Fibria Brasil	29,5	2015	5.000.000
April Group	29,6	2015	2.800.000
Jinhai Pulp	24,0	2013	1.000.000
CMPC	43,4	2012	4.100.000
Arauco	49,0	2018	3.800.000

Tabla 3.2: Consumos de agua en empresas de celulosa [30-34]

Por otro lado, en la figura 3.4 se puede ver cómo ha ido evolucionando el consumo de agua en la Planta Constitución. Si se compara esta información con los datos de consumo de las tablas 3.1 y 3.2, es posible visualizar un escenario desfavorable en términos del uso de agua en la planta de celulosa.

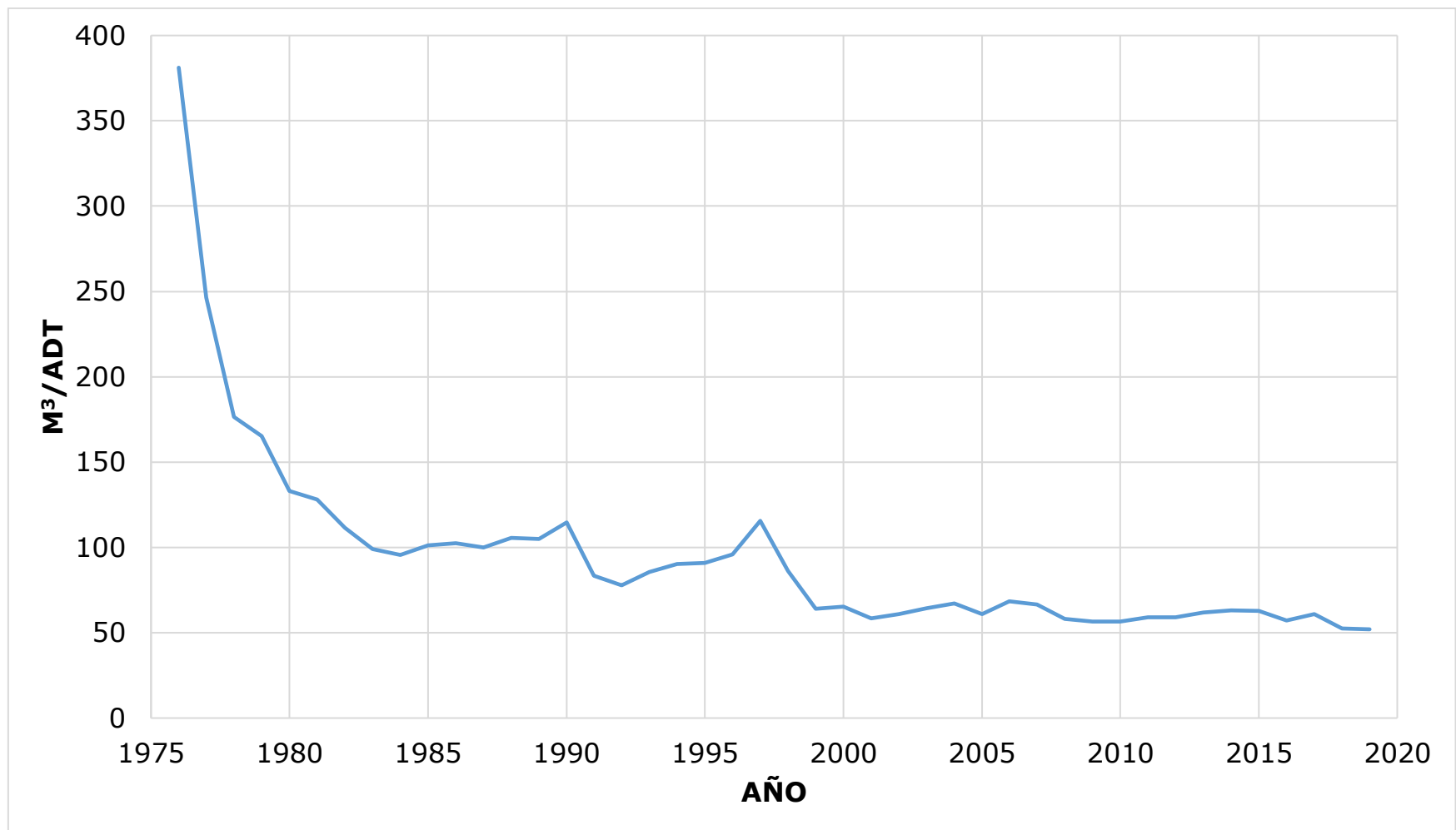


Figura 3.4: Consumo específico de agua en Planta Constitución

3.2.2.2 Naturaleza del consumo de agua en una planta de celulosa

El consumo de agua se define como "agua que ya no está disponible porque ha sido evaporada, transpirada, incorporada a productos o eliminada de otro modo del entorno acuático". Este concepto ha ganado importancia como base para la gestión de recursos hídricos en cuencas locales y regionales [35].

La figura 3.5 muestra un balance hídrico genérico para una fábrica de celulosa y papel. Evaporación, agua en producto final y agua en residuos sólidos son flujos de salida que pueden contribuir a las pérdidas de agua por consumo. El agua que se evapora domina las pérdidas de recurso hídrico en las plantas de celulosa y papel; alrededor del 95% de esas pérdidas se producen en las instalaciones [35].

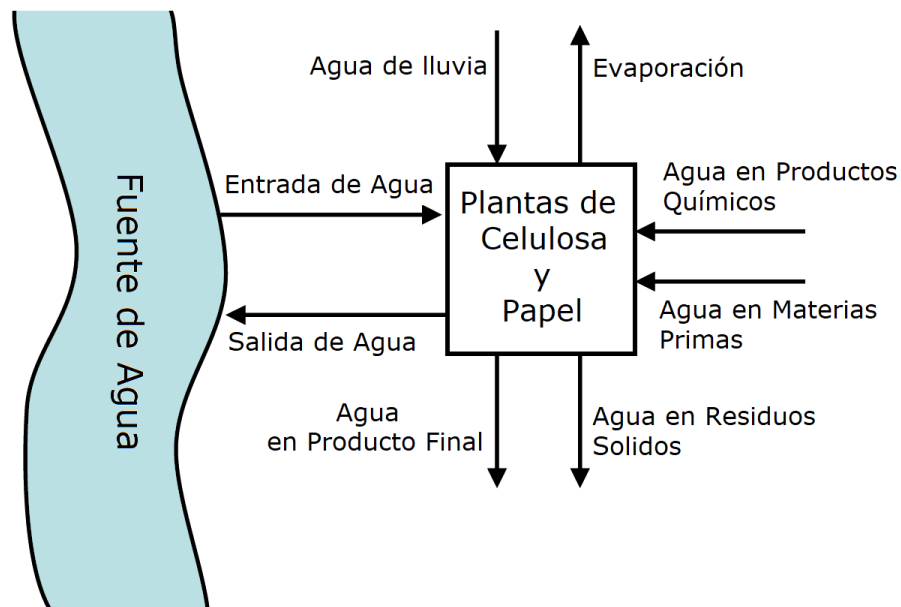


Figura 3.5: Balance de masa de agua en planta de celulosa [35]

Dentro de una planta de celulosa existen distintos estándares de calidad de agua los cuales pueden variar dependiendo de la operación. En la tabla 3.3 se detallan los principales usos de agua en la industria de la celulosa.

Usos	Función	Ejemplo
Agua de Proceso	Transporte	Transporte de fibras, aditivos y otros
	Dilución	Ajuste de consistencia, dilución de aditivos
Agua de Caldera	Producción de vapor	Generación de energía, secado
Agua de Refrigeración	Enfriamiento	Bombas, condensados
Agua de sello	Sellado	Bombas, cajas de vacío
Agua para Rociadores	Mojado	Mojado de la tela de formación
	Lubricante	Rodillos de cabeza, tensor en fourdrinier
	Corte, desborde	Recorte de los bordes de la hoja de celulosa
	Limpieza	Limpieza de paños de prensa y hoja de formación
	Dilución	Cajón de entrada a máquina
Agua de Limpieza	Aseo	Lavado de pisos, cañerías y otros

Tabla 3.3: Usos de agua en la industria de la celulosa [36]

Es importante mencionar que, dependiendo de la antigüedad de una planta de celulosa y de la capacidad de producción de celulosa, el agua de sello puede tener flujos significativos. En una planta con bajo control de consumo, el agua de sello puede llegar a representar hasta un tercio del efluente generado [37].

Si bien el aumentar la recirculación de agua permite disminuir los efluentes generados en una planta, también puede generar un aumento de concentración de las sustancias de los riles, lo cual en algunos casos implica aumento en la corrosión de tuberías y equipos como también alterar variables del proceso.

Es importante conocer la calidad de las aguas y sus posibles fuentes de contaminación para tener criterios claros a la hora de reutilizar o retratar flujos de agua utilizados en el proceso.

A continuación, se detallan las fuentes más relevantes de contaminación en las aguas de proceso [37].

- **Agua de alimentación:** contiene diversos contaminantes de materia orgánica, inorgánica y biológica, cuya concentración varía según el año y las características de las fuentes (aguas superficiales, ríos o lagos). Los parámetros más importantes a controlar son el pH, iones inorgánicos como sodio, calcio, cloruros y sulfatos y, en menor medida, el contenido de materia orgánica. Por esta razón la instalación de plantas de agua para eliminar o disminuir estos contaminantes es fundamental.
- **Materia prima fibrosa:** la madera constituye el principal contaminante en las aguas blancas, variando según el tipo de fibra utilizada (larga o corta) y el tipo de proceso de producción de celulosa (kraft, mecánica y otros). Los parámetros más importantes son el contenido de partículas finas, el contenido de materia orgánica soluble (ácidos resínicos, ceras y derivados de la lignina). La incorporación de contaminantes solubles orgánicos, a diferencia del material fino, no solo depende del tipo de proceso productivo, sino de la eficacia de los sistemas de lavado de pulpa.
- **Aditivos:** para la industria de la celulosa los aditivos comúnmente utilizados se enumeran en la tabla 3.4.

Descripción	Usos
Ácidos, bases y sales	Control de pH, mejora de la formación de la hoja, retención y drenaje
Aditivos de Retención	Mejora de la retención de fibras y finos
Aditivos de Drenaje	Mejora la eliminación del agua
Biocidas	Control de microorganismos
Inhibidores de incrustaciones y corrosión.	Control de la formación de depósitos y de la corrosión
Antiespumante	Control de espumas
Agentes de Limpieza	Limpieza y acondicionamiento de tela y paños

Tabla 3.4: Aditivos de uso corriente en la industria de la celulosa [37]

3.3 Reducción del uso de agua

En el contexto de la reducción del uso del agua una guía ampliamente mencionada son las 3R del consumo responsable, pero aplicadas a la industria [38].

- **Reducir** agua fresca: tiene relación con eliminar lavados, usar bombas de sello mecánico u otros que utilicen agua, implementar programas de mantenimiento para asegurar eficiencia de equipos de intercambio de calor.
- **Recuperar** aguas no contaminadas: tiene que ver con no desaprovechar las aguas limpias, como por ejemplo aguas de enfriamiento sin contacto con otros fluidos.
- **Reciclar** corrientes contaminadas para su reutilización: el tratamiento puede abarcar desde disminuir la temperatura del agua hasta realizar un tratamiento de riles en un clarificador secundario.

Con el fin de complementar las 3R de Kinstrey (1996), se propone incorporar y definir las siguientes R:

- **Reutilizar:** consiste en cerrar los circuitos de agua locales, con el fin de aprovechar en su totalidad el potencial uso de un flujo de agua. Se diferencia de Recuperar ya que se hace énfasis en la importancia de reaprovechar el flujo lo más cercano a la fuente de origen.
- **Reemplazar:** tiene relación con las aguas que, debido a su grado de contaminación, no puede ser recicladas y van a desagüe. Consiste en sustituir el uso de agua limpia por un flujo con parámetros de menor calidad que satisfaga las mismas necesidades y que no comprometa la operación.

Chandra (1997) por otro lado, enuncia con otro enfoque los pasos a seguir para poder tener una buena estrategia de reducción del uso de agua en una planta de celulosa [39]:

1. Desarrollar un buen balance de agua para la operación normal.
2. Comparar el uso de agua para varias áreas de proceso con buenos ejemplos.
3. Identificar áreas con alto potencial de reducción de uso de agua.
4. Identificar oportunidades en áreas de proceso para reutilización o reciclo
5. Definir las modificaciones al proceso y equipos necesarios.
6. Desarrollar un orden de magnitud del costo estimado de varios proyectos.
7. Preparar un análisis costo-beneficio y ordenar los proyectos en base al costo efectivo.
8. Seleccionar los proyectos que cumplan con el objetivo de reducir el uso de agua y/o la generación de efluentes.
9. Finalizar un plan de implementación y programa para los proyectos seleccionados.

Como primer punto, Chandra (1997) establece la importancia del desarrollo de balances de masa. Esto es fundamental, ya que permite conocer en detalle el recurso hídrico involucrado en la operación y, a partir de esto, se puede tomar buenas decisiones.

Un consumo ampliamente citado en bibliografía es el agua de sello de las bombas. Esta tiene la función de minimizar las partículas que llegan a estar en contacto con el sello y, a su vez, permite remover calor generado por la fricción de las partes mecánicas de una bomba, ya sea de impulsión o de vacío. Este aspecto es muy relevante, ya que cuando un sello está desbalanceado, puede llegar a requerir de hasta tres veces el flujo estimado por diseño, alcanzando valores que superan un flujo de 1,3 m³/h [39].

Otra guía de trabajo para la reducción del uso de agua es el caso de Vietnam, país en que se desarrolló una metodología similar a la propuesta por Chandra, a fin de evaluar la gestión de agua de un conjunto de parques industriales, ubicados en Dong Nai.

Esta gestión presentaba problemas tales como [40]:

- Pronósticos imprecisos de la cantidad de agua.
- Descontrol sobre la cantidad y calidad del efluente.

Para sistematizar este proceso, se aplicó en la provincia un método de análisis de balance de masa. Para ello se definió un límite de batería, procesos involucrados y flujos entre los diferentes procesos. En este enfoque se consideró necesario analizar áreas donde se podría reciclar el agua, optimizar insumos e implementar sistemas de circuito cerrado [41].

Durante la revisión del caso se aplicó los siguientes pasos para poder evaluar la situación del recurso hídrico [42]:

1. **Análisis de sistema:** los límites del sistema deben ser definidos, los procesos más importantes deben ser caracterizados y los parámetros e indicadores deben ser elegidos.
2. **Descripción del sistema:** debe estar definido por límites en el espacio y tiempo. Los flujos másicos de entrada y salida a través de los diferentes procesos deben ser medidos a través de indicadores del proceso, a fin de poder calcular el flujo de elementos.
3. **Adquisición de datos:** consiste en la interpretación y validación de los flujos de materiales y elementos determinados.
4. **Balances de agua, modelado y construcción de escenarios:** se debe desarrollar escenarios y determinar puntos de seguimiento.
5. **Resultados del análisis:** estos se interpretan teniendo en consideración la capacidad de carga, indicadores sustentables u otros enfoques de evaluación.

Este método permitió identificar dentro del parque industrial las empresas que presentaban un mayor consumo, además de determinar que el consumo de agua, que representaba entre 59,5% y 90,2% de la extracción de agua industrial, era entre 8,5% y 51,2% mayor que la generación de aguas residuales. Así se concluyó finalmente que estos parques industriales no estaban bien diseñados para aprovechar las ventajas del uso del agua.

3.4 Generar una propuesta de mejora

En el contexto de este trabajo, la sección anterior busca entregar las bases necesarias para evaluar y reducir el uso de agua en una planta. Adicional a ello, es necesario estructurar el cómo llegar a una solución que permita finalmente reducir el consumo de agua. Para ello, la metodología sistemática Six-Sigma resulta muy útil, ya que su objetivo es reducir errores, concentrándose en la mejora del proceso y minimizando las posibilidades de falla.

Parte de esta metodología es utilizada para eliminar los desperdicios de procesos, reducir la variación de un producto, mejorar la productividad y acortar los ciclos de los procesos. Sigue un formato estructurado que consiste en 5 fases conectadas entre sí (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) [43].

Lo anterior permite no solo señalar flujos de agua posibles a recuperar, sino también establecer distintas opciones de proyectos a llevar a cabo, con una mirada enfocada en las necesidades de cada área de producción y de sus trabajadores, los que diariamente hacen posible la operación. A continuación, se enuncia las 5 fases asociadas a esta metodología:

- **Definir:** Es la fase inicial de la metodología y tiene como objetivo identificar los posibles proyectos de mejora dentro de la empresa, además de definir cuál es el problema a tratar. Dentro de esto, es importante definir el propósito del proyecto a realizar, el alcance que tendrá el mismo, el funcionamiento actual del proceso y el flujo del proceso general, entre otros [44,45].
- **Medir:** Una vez que está definido el problema a abordar, se debe establecer qué características determinan el comportamiento del proceso; es necesario identificar cuáles son las variables del proceso, qué parámetros afectan a su desempeño y medir la capacidad del proceso, además de evaluar el sistema de medición actual [45, 46].
- **Analizar:** En esta etapa se analizan los datos obtenidos del estado actual del proceso y se determinan las causas de este estado y las oportunidades de mejora. Aquí se determina si el problema es periódico o un evento aleatorio. Así se analizan los datos recolectados anteriormente y se estructura un plan de mejoras potenciales para aplicar en el siguiente paso. Se suelen utilizar diagramas de causa efecto para encontrar la raíz del problema y en base a esto poder resolverlo [44].
- **Mejorar:** Cuando ya se determinó que el problema es periódico, se deben identificar las posibles soluciones. En esta fase se desarrollan, implementan y validan alternativas de mejora para el proceso, rediseñando el esquema actual para solucionar los problemas existentes [43, 44].
- **Controlar:** Una vez que se ha mejorado el desempeño del sistema, se debe asegurar que este se mantenga en el tiempo, así se hace necesario tener una estrategia de control que permita monitorear el sistema y cerciorarse que opere de forma eficiente [44].

3.5 Escoger una cartera de propuestas de mejora

En la actualidad, existen muchos enfoques asociados a cómo escoger un conjunto de proyectos para que estos sean llevados a su etapa de implementación. El cómo tomar esta decisión puede depender mucho de la naturaleza de los proyectos, la información disponible y del impacto esperado.

Dentro de la literatura se puede identificar seis formas de abordar esta temática [47]:

- a) **Medición de beneficios:** involucra, por medio de distintas herramientas, la cuantificación del beneficio a partir de cómo están caracterizados. Ejemplo de esto son modelos de comparación, check-list, análisis jerárquico y modelos económicos.
- b) **Programación Matemática:** consiste en una herramienta cuantitativa en la cual, por medio de restricciones y variables de decisión planteadas como expresiones matemáticas, se busca la optimización de una función objetivo, como maximización de utilidades o minimización de costos.
- c) **Emulación Cognitiva:** consiste en incorporar elementos que permitan anticiparse a distintos escenarios en los que se lleva a cabo una cartera de proyectos. Ejemplo de esto son los árboles de decisión basados en modelos probabilísticos y teoría de juegos.
- d) **Simulación y Heurística:** utiliza la distribución de probabilidades de todos los elementos estocásticos asociados a una cartera de proyectos, analizando escenarios y consecuencias por medio de una simulación, como por ejemplo Monte Carlo.
- e) **Análisis Real:** consiste en incorporar tanto la inherente incertidumbre en un mercado, como también la decisión necesaria a tomar para que una estrategia sea exitosa. Involucra modelos más complejos de análisis como el uso de ecuaciones en derivadas parciales y programación dinámica.
- f) **Modelos Ad Hoc:** consiste en modelos ya desarrollados para carteras de proyectos específicas.

4 Metodología

Con la finalidad de cumplir con los objetivos propuestos, se elaboró el siguiente esquema de trabajo:

4.1 Establecimiento de áreas de producción

Para poder evaluar y analizar los circuitos de agua de la Planta Constitución, en una primera etapa, se identificó y estableció las distintas áreas de producción como sub plantas de producción, a fin de compartimentar la Planta de Celulosa y tener una visión más clara de cada una de las áreas, lo cual fue posible al asociar cada área a un producto específico, simplificando así los balances hídricos y, a partir de lo anterior, establecer límites de cada subsistema. Las áreas de la Planta Constitución están detalladas en el Anexo A.

4.2 Levantamiento de circuitos de agua

Se realizó un levantamiento de los circuitos de agua de cada una de las áreas de producción. Para ello se consultó los planos P&ID y los diagramas disponibles en pantallas DCS, los cuales fueron verificados en lugar con la orientación de operadores y superintendentes del área para identificar las líneas de agua. En base a esta información se determinó las líneas importantes a considerar, las cuales se llevaron a un diagrama de bloques conceptual, el cual luego sería utilizado para realizar el balance de aguas.

Adicionalmente, se recopiló la mayor cantidad de información posible respecto a la operación del área, con el fin de ubicar los flujos de agua dentro de la operación, además de entender la importancia del uso del recurso para que se realice una determinada operación. Esto fue bastante útil, ya que comprender la operación permitió identificar opciones de recuperación entre otras áreas de producción para reducir el uso de agua. Para lograr esto fue necesario consultar los manuales de operación y realizar entrevistas tanto a operadores, ayudantes y jefes de área, con el objetivo de conocer su visión del proceso y del circuito de agua analizado.

4.3 Cuantificación de Flujos

Paralelo a lo anterior, se recogió la mayor cantidad de información de flujos y parámetros de calidad conocidos. En primer lugar, se tomó los datos disponibles en pantallas de monitoreo DCS y en otros casos, por medio de un registro histórico con el fin de obtener un valor promedio. Para el caso de líneas que no disponían de un medidor se hizo en base a lo siguiente:

- **Capacidad de las bombas:** se procedió a registrar la presión de salida de las bombas correspondientes y, por medio de la curva característica por catálogo, estimar el flujo de salida. En caso de no ser posible determinar la presión de salida u otro parámetro, se utilizó la capacidad nominal de la bomba.
- **Cronometría:** Esto se refiere a flujos que fueron posibles de medir por medio de un recipiente de volumen conocido y un cronómetro. Estas aguas fueron en su mayoría provenientes de equipos que operaban con aguas sello y/o refrigeración.
- **Instrumento:** Este es el caso de flujos para los que, debido a la dificultad de hacer una medición por cronometría o por balance, se debió recurrir al instrumentista del área y, en coordinación con el ingeniero de operaciones, se realizó mediciones de flujo con flujómetro ultrasónico. Las razones de no emplear ampliamente este equipo fueron su limitada precisión y las condiciones de uso del instrumento: el flujómetro mide la velocidad de un fluido dentro de una cañería, mediante una señal acústica y para realizar una buena medición es necesario que la cañería esté libre de pintura, óxido o cualquier otra fuente de suciedad. Además, el ducto debe ser horizontal y la instalación de los sensores debe considerar una distancia equivalente a 10 veces el diámetro de la tubería.

4.3.1 Materiales y equipos utilizados

- Cronómetro marca Casio, modelo HS-3V-1BRDT, resolución 1/100 s.
- Recipiente plástico de 20 litros.
- Recipiente plástico de 2 litros.
- Recipiente plástico de 1 litro.

4.4 Balances de circuitos de agua

Disponiendo de la información recopilada y del esquema de circuito de agua propuesta, se procedió a plantear las ecuaciones de balances de masa y determinar los grados de libertad del sistema estudiado, a fin de establecer la necesidad de medir una variable no considerada.

Se tomó todos los flujos como agua de similar pureza, considerando los casos en que los sólidos eran significativos. Todos los datos obtenidos se trataron como valores promedio en operación normal.

Se usó una planilla Excel para resolver los balances y también para construir los esquemas de los circuitos de agua asociados a cada operación de interés.

4.5 Medición de parámetros de calidad de agua

Con el fin de conocer los flujos con potencial uso de reutilización, se realizaron análisis químicos de conductividad, turbidez y pH. Para ello se usaron los siguientes equipos:

- Medidor de conductividad marca Schott Instruments, modelo 960 con exactitud de 0,5 %.
- Medidor de turbidez marca Hach, serie 2100N, con una exactitud de 2%.
- Medidor de pH marca Schott, modelo CG840, con sensibilidad de $\pm 0,005$ unidad de pH.

4.6 Identificar una oportunidad de reducción del uso de agua

En una planta de celulosa usualmente ocurre que el uso desmedido de agua se debe a dos motivos: sobreconsumo en operaciones que demandan menos agua de la que es utilizada y que en labores rutinarias el agua una vez utilizada es enviada a desagüe.

Como el fin de este estudio es reducir el uso de agua en la Planta Constitución, se proponen las siguientes preguntas claves para evaluar la gestión del uso de agua en las distintas áreas de producción y para identificar si un flujo es candidato a ser considerado en una propuesta de mejora:

1. ¿Es posible utilizar menos agua en las condiciones de operación actuales?
2. ¿Existe actualmente tecnología o medidas que permitirían utilizar menos agua en la operación?
3. ¿Existe un mejor destino en donde se podría llevar el agua ya utilizada, antes de ser enviada a la Planta de Tratamiento de Efluentes?
4. ¿El flujo de agua ya utilizado tiene un valor de conductividad menor a 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (parámetro de calidad de agua industrial)?

Si al menos una de las preguntas anteriores se responde con un "Sí", entonces es posible mejorar la gestión del uso del agua en el área y el flujo ya analizado deberá ser considerado como candidato en una propuesta de mejora.

4.7 Evaluación económica

Con el fin de cuantificar el impacto que tendría la recuperación de agua, se utilizó un enfoque económico. Para ello se calculó el costo de producir agua industrial, como se muestra en el anexo D. En esta imagen se presenta un costo de electricidad, asociado a impulsión del agua desde la bocatoma hacia la planta de celulosa y otro asociado al tratamiento químico.

Una vez realizado el análisis de las áreas de la planta, se obtuvo un listado de flujos de agua con uso potencial de aprovechamiento; dependiendo si el flujo es o no de calidad industrial, este tendría un costo asociado a tratamiento químico e impulsión, en tanto, los flujos de calidad no industrial solo tendrían un costo asociado a impulsión.

El objetivo de hablar sobre los costos de estas aguas en particular tiene que ver con que el no reincorporar estos flujos al circuito de la planta significa que un volumen equivalente debe ser tratado e impulsado desde la bocatoma para satisfacer la demanda, el autor hace esta distinción con el fin de resaltar que son costos que se pueden evitar ya que si se recuperasen estas aguas significaría captar menos agua del río Maule y con ello disminuir los gastos asociados a tratamiento e impulsión.

4.8 Propuestas de mejora

Una vez conocido el flujo a recuperar y sus parámetros de calidad se identificó, en base a la operación de las áreas, zonas con mayor demanda de agua. A partir de ello, se diseñó opciones de propuestas para cada zona, considerando equipos necesarios y modificaciones del proceso.

Cada propuesta tiene el objetivo de aprovechar el agua que se encuentra disponible y que en la actualidad se va como rila a desagüe. El enfoque que le da el autor en este trabajo a estas fuentes es equivalente al caudal del río Maule, es decir el volumen de agua a recuperar tiene tanta importancia como el volumen equivalente de agua que se capta del río.

4.9 Escoger cartera de propuestas

Para abordar la decisión de escoger un conjunto de proyectos a realizar, se tomó un enfoque matemático a fin de plantear un problema de programación lineal.

Para ello, se tomaron los resultados del anexo D con respecto al costo de producción de agua industrial y se planteó parámetros como tiempo de expectativa de una propuesta, presupuesto y calidad de agua, con el fin de formular una función de utilidades asociada a cada proyecto.

Definiendo la variable de decisión como la realización o la no realización de un proyecto, se planteó las ecuaciones que definen las restricciones observadas del problema planteado, como se puede apreciar en el desarrollo del problema en la sección de resultados.

5 Resultados y Discusión

5.1 Estado de la Planta

En base a la metodología propuesta, en esta sección se hace un diagnóstico de cómo se gestiona actualmente el recurso hídrico en la Planta de Celulosa. A partir de un análisis de cada una de las áreas de producción, es posible identificar oportunidades de reducción del consumo de agua en la Planta Constitución.

El tag de los equipos asociados a cada área de producción y el diagrama de flujo global de la Planta de Celulosa se presenta en el anexo A para mayor información.

5.1.1 Tipos de agua en la Planta Constitución

Dentro de la Planta de Celulosa se identificaron 8 tipos de agua, en la tabla 5.1 se presenta las características de cada una y sus parámetros de calidad correspondientes.

Tipo de Agua	Información	Conductividad [μS/cm]	Turbidez [NTU]	pH	Temperatura [°C]
Cruda	Corresponde a agua sin tratamiento químico, proviene de la captación en la bocatoma del río Maule y es enviada a la Planta de Celulosa.	250-400	10-100	8,0-9,0	20-25
Industrial	Es el agua que produce el área de Planta de Agua, corresponde a agua de primer uso que es distribuida hacia todas las demás áreas de la planta.	250-400	<2,5	8,0-9,0	20-25
Desmineralizada	Es agua de origen industrial tratada por medio del área de Desmineralizado. Allí se lleva a un mayor grado de pureza, con el fin de ser utilizada en el área de Calderas.	1-5	<1,0	8,0-9,0	40-50
Vapor	Es agua de calidad desmineralizada en estado gaseoso que fue producida por el intercambio de calor en el área de calderas. En la Planta de Celulosa se producen tres tipos de vapor: vapor de alta presión (60 bar), media presión (11 bar) y baja presión (3,5 bar).	<1	<1,0	8,0-9,0	140-280
Agua tibia y caliente	Corresponde a agua de calidad industrial a mayor temperatura que es reutilizada.	250-400	<2,5	8,0-9,0	40-70
Agua sello y/o refrigeración	Es agua de origen industrial utilizada en equipos de rotación o que requieren de refrigeración.	250-400	<2,5	8,0-9,0	25-50
Condensado sucio	Son aguas provenientes del área de Evaporadores contaminadas con licor.	1000-3000	>10	<7,5	100-120
Blanca	Es agua de origen industrial utilizada en el área de Secado. Debido a su uso arrastra parte de la fibra de celulosa.	>1500	>50	<4,5	30-40

Tabla 5.1: Tipos de agua y parámetros de calidad

5.1.2 Área Planta de Agua y Captación

Esta área tiene la función de captar agua del río Maule y llevarla hasta la Planta de Celulosa, con el fin de abastecer las áreas de producción con agua apta para consumo industrial. Para mayor información del funcionamiento de área revisar el anexo F.

5.1.2.1 Gestión del uso de agua en el área

Una de las mayores dificultades a nivel técnico observadas en esta área tiene relación con los medidores de flujo. Esto, debido a que no todas las áreas de producción disponen de la instrumentación necesaria para tomar registro de la distribución de agua en la Planta de Celulosa, por lo que se conoce solo los consumos de algunas áreas, sin considerar en su mayoría flujos asociados a operaciones más recientes. La medición más exacta con la que se cuenta es el total de agua cruda que llega a la Planta de Agua, situación que impide realizar un seguimiento óptimo de la evolución del consumo en cada una de las áreas de producción, así como identificar tempranamente operaciones con un consumo injustificado de agua.

Se estima conveniente que a futuro en Planta Constitución se desarrolle un proyecto de implementación de medidores de flujo, con el fin de tener un monitoreo más preciso de la gestión de agua en cada área de producción y con ello, darle la importancia que requiere actualmente. El motivo por el cual el autor cree que se ha aplazado la gestión óptima del uso del agua a lo largo de los años se relaciona al bajo costo que significa el producir agua de calidad industrial para la empresa. Sin embargo, esta situación ha cambiado en los últimos años debido a una creciente preocupación por el cuidado del medio ambiente y los efectos negativos que conlleva el cambio climático. Ejemplo de esto es que cada año, durante la temporada de verano, es necesaria la instalación de una bocatoma provisoria a mayor altura sobre el nivel del mar, con el fin de abastecer de agua a la planta con una menor concentración de cloruros.

Otro aspecto significativo en la operación de Planta de Agua es el consumo de agua en las épocas de temporada de verano. En la figura 5.1 se puede apreciar que en los meses de enero y febrero se concentra una mayor captación de agua, en comparación con los otros meses. Esta situación se produce debido a que la temperatura ambiente es mayor, siendo necesario un mayor flujo para refrigerar los equipos. Lo anterior deja ver que la Planta de Celulosa presenta deficiencias en cuanto al retorno y/o reutilización de estos flujos ya que, de lo contrario, los consumos se mantendrían estables durante todo el año. Esta situación se pudo confirmar con el análisis de las áreas productivas, en que se identificó flujos importantes utilizados en

refrigeración que no son reincorporados, como por ejemplo las bombas de vacío de Caustificación y Secado, que llegan a contabilizar un flujo superior a 80 m³/h enviado a desagüe.

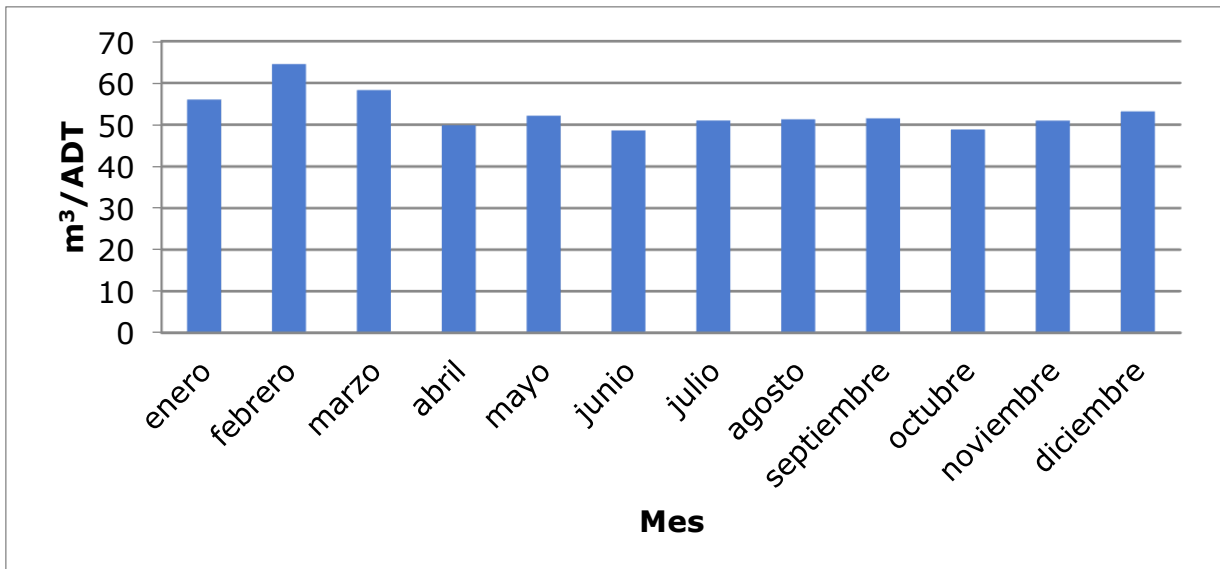


Figura 5.1: Consumo de agua en Planta Constitución 2018

5.1.2.2 Distribución del agua en el área

En base a los balances de agua realizados, se puede ver en la figura 5.2 que la única fuente de agua devuelta a Planta de Agua son los flujos asociados a aguas calientes del área de Lavado y Clasificación y a los condensados del área de Turbogeneradores. Esto significa a grandes rasgos que un 40% de la demanda de agua de la Red Prioritaria y no Prioritaria de la planta es suplida por estos retornos y que el 60% restante está asociado al consumo de agua cruda proveniente del río Maule, lo que se traduce en el consumo específico actual de 50,8 m³/ADT. De no existir estos dos retornos de agua existiría un consumo específico de 84,3 m³/ADT, lo cual según la tabla 3.1, sería equivalente al desempeño de una planta de celulosa del año 1980 en Estados Unidos.

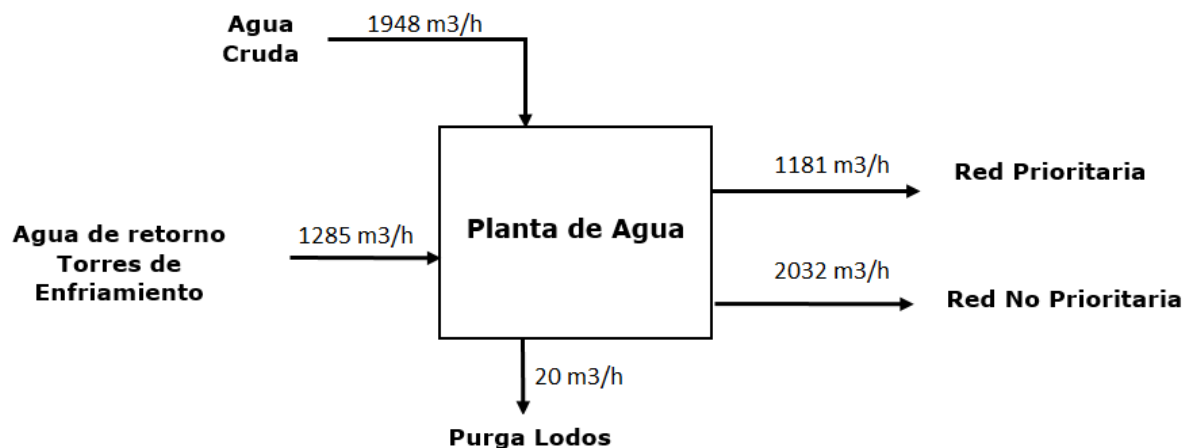


Figura 5.2: Distribución de agua en Planta de Agua

En base a estos resultados, se estima que es necesario incluir una mayor cantidad de flujos hacia la Planta de Agua, con especial énfasis en la cámara de llegada donde se inicia el tratamiento de agua cruda del río Maule y que tiene el potencial de tratar aguas de otras áreas actualmente desechadas como riles.

5.1.2.3 Oportunidad de recuperación de agua

Con el fin de producir agua industrial es necesario contar con puntos de muestreo en los distintos equipos de tratamiento, así se puede ajustar la dosificación de reactivos como hipoclorito de sodio, coagulante y floculante. Sin embargo, estos flujos son enviados a desagüe constantemente y no son reincorporados, pese a tener una fuente de tratamiento directa. En la tabla 5.2 se puede visualizar los flujos medidos de estos puntos, notándose que en orden de magnitud el total está muy por debajo del caudal de entrada de agua cruda. Pese a ello, debido a su ubicación es importante que sea considerado.

Puntos de muestra	Flujo [m³/h]
82-A-50a	0,72
82-A-50b	0,51
82-A-60	0,72
82-A-61	0,60
Agua Decantada	2,48
Total	5,04

Tabla 5.2: Medición de flujos de puntos de muestreo de Planta de Agua

5.1.3 Área Tratamiento de Agua para Calderas

Esta área se encarga de abastecer de agua desmineralizada tanto a la Caldera Recuperadora como a la Caldera de Poder. Para ello, al agua abastecida desde Planta de Agua se le debe eliminar todas aquellas impurezas en suspensión que aún pueda contener, extrayendo además todos aquellos elementos metálicos (calcio y magnesio) y no metálicos (óxido de fierro y sílice) que se encuentren en forma de sales. Esto es necesario para evitar la existencia de corrosión e incrustación en los equipos en etapas posteriores. Para más información del funcionamiento del área revisar el anexo F.

5.1.3.1 Gestión del uso de agua en el área

Es una de las áreas que mayor atención requiere en cuanto a reducción de consumo de agua, ya que en cada una de las etapas para producir agua desmineralizada se puede identificar a lo menos un flujo de agua que va a desagüe.

Diariamente es necesario realizar cuatro lavados de los filtros de arena con agua industrial lo cual es excesivo. Esto se debe a la gran exigencia que tienen estos equipos, ya que, pese al aumento existente en la demanda de agua desmineralizada, se ha mantenido el número de equipos de filtración desde la entrada en funcionamiento del área. Se podría pensar que si se mejorasen los índices de turbidez del agua industrial de Planta de Agua se podría reducir el problema generado en el área de Desmineralizado. Como se observa en el balance del área en la figura 5.3, la demanda de agua es de 125 m³/h, lo cual representa un 3,8% del total de agua que demanda la planta. Debido a ello, es necesaria que mejoras en torno a este punto sean implementadas de manera local, ya sea con un estudio enfocado a optimizar el desempeño del material de relleno de estos filtros o a incorporar nuevos equipos de filtración.

La regeneración de las resinas de intercambio iónico significa también un gasto importante de agua acorde al anexo F del funcionamiento de área, sin embargo, debido al contacto con soda cáustica y ácido sulfúrico, es difícil plantear un reaprovechamiento de esta agua, debido al volumen cuantificado y al grado de contaminación.

En base al balance del área realizado, que se muestra en la figura 5.3, se puede identificar que la operación de osmosis tiene una eficiencia del orden de 75%, lo que actualmente está en el rango promedio del común de los equipos asociados a esta operación.

En cuanto al manejo de los condensados de retorno, es posible destacar su importancia para la operación de Calderas, ya que el vapor generado no solo es utilizado en Turbogeneradores, sino también en procesos de intercambio de calor alrededor de toda la planta. En base al esquema de pérdidas de condensado del anexo F, se llegó a cuantificar que un 30% de los condensados no son recuperados, principalmente debido a contaminación o a que son dispuestos en trampas de vapor y luego enviados hacia efluentes, al no contar con líneas de retorno. Sin embargo, en el caso de los condensados contaminados existe oportunidad de retorno, en el escenario que exista una conductividad similar a la del agua industrial. Si bien no se recuperarían como condensados de calidad de agua desmineralizada, sí sería como calidad industrial.

5.1.3.2 Oportunidad de Recuperación de Agua

Dentro del área se puede identificar en primera instancia el agua de lavado de los filtros de arena, operación de mantención que significa diariamente enviar a desagüe 400 m³. En la tabla 5.3 se puede ver los parámetros de calidad de ambas muestras: la muestra 1 corresponde a 5 minutos después de iniciado el lavado y la muestra 2 corresponde a 5 minutos antes de terminar el lavado. De ambas es posible rescatar que cumplen con el parámetro de conductividad, pero no así de turbidez, lo cual es natural ya que el agua cumple la función de arrastrar la suciedad acumulada en el filtro. El que se mantenga dentro del parámetro de conductividad asegura que puede ser nuevamente tratada, ya que como estándar a nivel Planta las aguas con una conductividad >250 µS/cm no son reincorporadas al circuito de agua industrial, ni tratadas.

Parámetro	Valor Muestra 1	Valor Muestra 2
Turbidez	15,3 NTU	2,7 NTU
Conductividad	162,3 µS/cm	82,0 µS/cm
pH	7,5	7,5

Tabla 5.3: Parámetros de calidad de agua de lavado

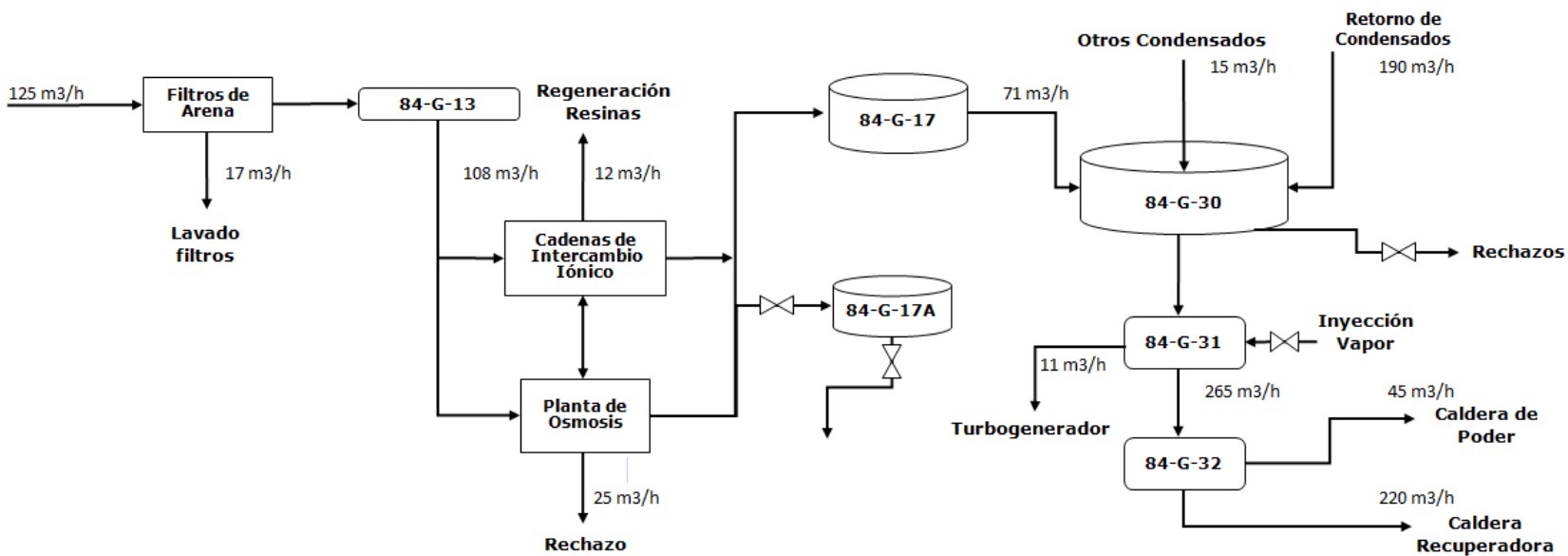


Figura 5.3: Distribución de agua en área de Desmineralizado³

³ Flujos que se muestran con válvulas en la figura 5.3 no son continuos, al momento de efectuarse las mediciones de flujo estas válvulas permanecían cerradas por lo que deberán considerarse como flujos de 0 m³/h.

Otra fuente de reducción del uso de agua son los rechazos de osmosis que pueden llegar a un flujo de 25 m³/h. En la tabla 5.4 se puede ver los parámetros de calidad de agua de estos rechazos. Si bien la alta concentración de sílice y el alto valor de conductividad son un impedimento para reutilizar esta agua directamente en el proceso, no se descarta la posibilidad de reutilizar este flujo para labores de aseo en áreas que están expuestas a derrames de licores, lo cual significaría reducir el uso de agua industrial para labores de limpieza.

Parámetro	Valor muestra tren 2	Valor muestra tren 3
Turbidez	1,7 NTU	0,99 NTU
Conductividad	378 μS/cm	398 μS/cm
pH	7,7	7,9
Sílice	35,3 ppm	43,1 ppm

Tabla 5.4: Parámetros de calidad de agua de rechazo de osmosis

Finalmente, otra oportunidad de recuperación es el agua de rechazo de condensados de retorno. Como se explica en el anexo F, estos condensados cuentan con una medición continua de conductividad y, por medio de un sistema de control automático, se envían a desagüe al superar el valor de 10 μS/cm.

En la tabla 5.5 se detalla los flujos de cada uno de estos retornos, como también el número aproximado de eventos durante el mes de octubre que significó la no recuperación de estas líneas de retorno.

Área de Operación	Flujo [ton/h]	Numero de eventos
Secado	62,9	1
Digestores	8,5	>20
Evaporadores	59,2	>45

Tabla 5.5: Eventos de purga de condensados

Si se toma como supuesto que cada evento de alza de conductividad tuvo una duración de 1 hora, se llega a que durante el mes de octubre de 2019 se perdió como mínimo 2897 m³ de condensado, el cual si bien, no se encontraba en el rango de calidad de agua desmineralizada, si cumplía con el estándar de agua industrial, lo que equivale a un flujo de al menos 4 m³/h (en el anexo C se puede ver gráficos tomados como referencia utilizados para elaborar tabla 5.5)

5.1.4 Área Caldera Recuperadora

Las funciones principales de una Caldera Recuperadora son:

- **Recuperación Química:** los materiales orgánicos presentes en el licor son quemados y las sales de sodio son reducidas y drenadas como fundido en la parte inferior del hogar. Estas sales de sodio son descargadas a un estanque disolvedor, donde son mezcladas con licor blanco débil, produciéndose el licor verde que es bombeado al área de Caustificación para su procesamiento.
- **Generación de Vapor:** para generar vapor es utilizado el calor desprendido en la combustión de la materia orgánica del licor, el cual es transferido al agua a través del contacto entre los tubos que la contienen y los gases de combustión.

5.1.4.1 Gestión del uso del agua en el área

Con respecto al agua desmineralizada utilizada es posible afirmar, basados en el balance mostrado en la figura 5.4, que tiene un buen desempeño, ya que el 95% del agua se trasforma en vapor, mientras el 5% que representa una purga del equipo es recuperada como agua caliente en el proceso.

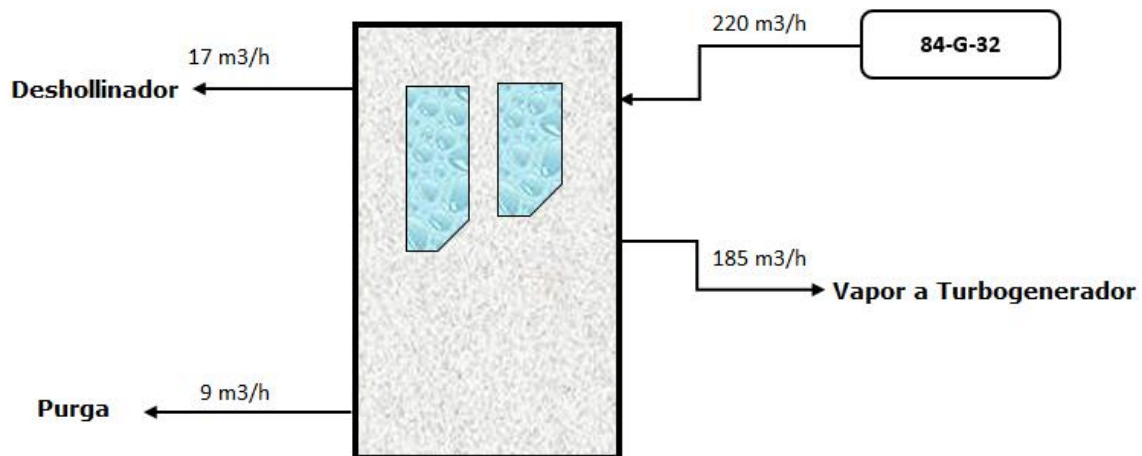


Figura 5.4: Distribución de agua en Caldera Recuperadora

Pese a lo anterior, existen deficiencias en el uso de agua para mantener los equipos funcionando, las cuales se muestran a continuación:

Refrigeración de canaletas: como se observa en el anexo F, su funcionamiento consiste en un circuito cerrado de agua que permite la refrigeración de las canaletas de material fundido de la Caldera Recuperadora. Para poder remover el calor de este circuito cerrado se utiliza un intercambiador de calor que cuenta con un flujo de agua de 0,65 m³/h, el cual no es recuperado como se muestra en la figura 5.5. Es una pérdida innecesaria y el que anteriormente no se haya propuesto medidas para reincorporar este flujo se puede atribuir a que, en comparación con el flujo de captación de agua, es casi despreciable en orden de magnitud. Pese a ello, es necesario resaltar que si se quiere reducir el consumo de agua en una planta es necesario incluir flujos de estas características, debido a que la suma del total es la que finalmente hace la diferencia.

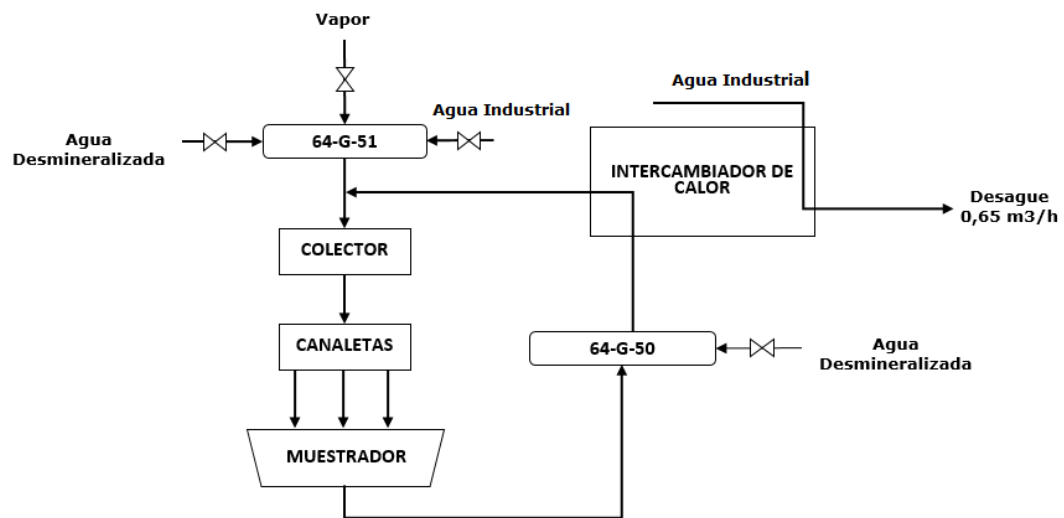


Figura 5.5 Distribución de agua en Sistema de Refrigeración de material fundido de Caldera Recuperadora

Refrigeración de gases: se pudo ubicar junto a la descarga de agua anteriormente mencionada un flujo de refrigeración asociado a la operación del mix tank separator 64-Q-55, en el cual se hace un lavado previo de los gases DNCG que provienen de los estanques 64-G-12/33/17, cuantificando el flujo de agua utilizado en esta operación en 3,5 m³/h. Este flujo solía enviarse al estanque de condensados sucios 63-C-21 del área de evaporadores, sin embargo, debido a la temperatura que alcanzaba, se optó por enviarlo de manera individual hacia desagüe, con el fin de no dificultar el control de temperatura del estanque de condensados sucios. Esta decisión no abordó la recuperación de este flujo y solo significó remover la línea de tubería hasta el punto más cercano a una canaleta de desagüe.

Agua Sello: este es un punto bastante discutido en literatura; casi la totalidad de las bombas utilizadas en esta área funcionan con empaquetadura y, al ser equipos de sellado por contacto, existe una fricción con el eje de rotación, lo que significa utilizar agua para lubricar este sistema. El hecho de que se utilice este tipo de sellado por sobre otros se debe principalmente a la sencillez y a lo económico que resulta su mantención, sin embargo, esto se traduce en un costo de agua importante: en la figura 5.6 se puede identificar un total 20 equipos que requieren de refrigeración en el área, en su mayoría bombas de impulsión.

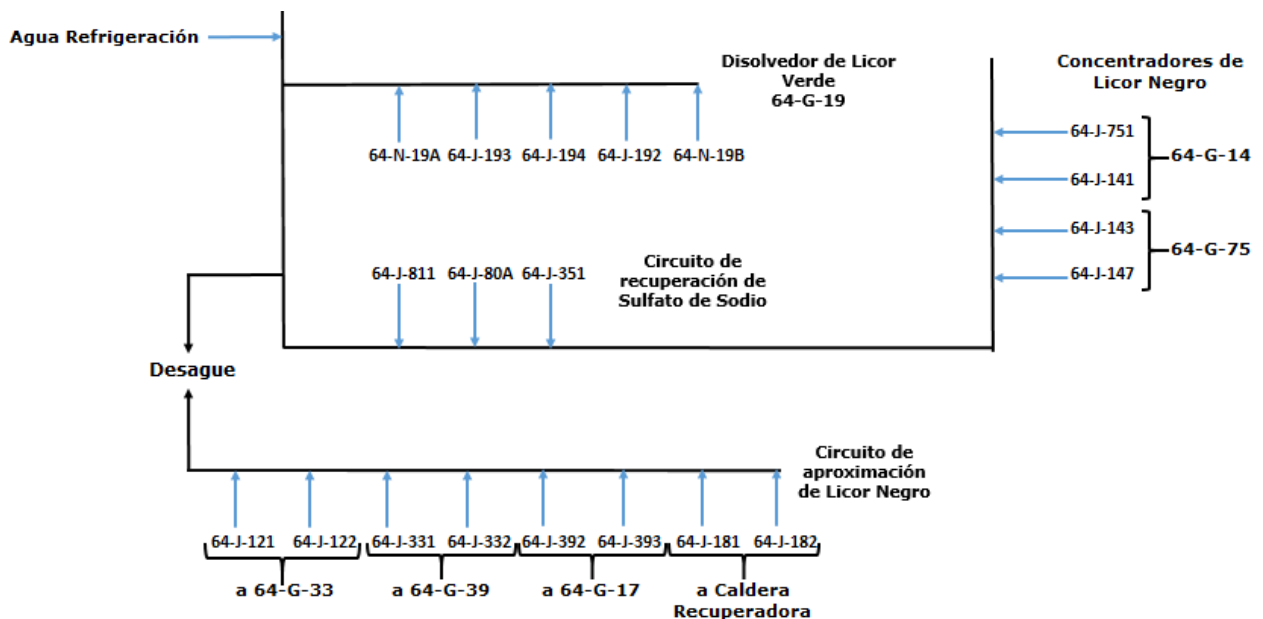


Figura 5.6: Distribución de agua sello en Caldera Recuperadora

En base a las mediciones de estos flujos de refrigeración se pudo cuantificar que 8 m³/h de agua sello son enviados a desagüe con uso potencial de recuperación (en el anexo b se puede ver el detalle de las mediciones realizadas). Lo anterior deja ver que existen dos opciones para abordar este problema: la primera sería cambiar todas las bombas por sello mecánico, eliminando el uso de agua para refrigeración, mientras la segunda sería el recuperar estos flujos de agua y mantener las bombas con empaquetadura. La opción más eficaz a simple vista sería cambiar todas las bombas, sin embargo, esto significaría una inversión importante, dada la cantidad de bombas. Por otro lado, el recuperar las aguas de refrigeración permitiría mantener en funcionamiento las bombas actuales, lo cual no aseguraría la recuperación del total de las bombas ya que, dependiendo de la estrategia de segregación de los flujos, si una bomba sufre una rotura de

empaquetadura, esto significaría contaminar las aguas que se recuperarían, por lo que en este último caso será importante el cómo se plantea el diseño de la propuesta.

5.1.4.2 Oportunidad de recuperación de agua

En base a lo anterior, en el caso del agua de refrigeración de las canaletas de fundido, se puede ver en la tabla 5.6 que presenta un buen parámetro de turbidez y conductividad. Adicionalmente, el tener una temperatura de 50° C puede significar un punto a favor, en el caso de ser aprovechada como agua caliente. Las mismas condiciones se dan para el flujo asociado a la refrigeración de gases, como se puede ver en la tabla 5.7, por lo que una medida de recuperación debiese estar orientada a llevar estos dos flujos a destino.

Parámetro	Valor
Turbidez	0,836 NTU
Conductividad	225 μ S/cm
Temperatura	50 °C
Flujo	0,65 m ³ /h

Tabla 5.6: Parámetros de calidad de agua de refrigeración de canaletas

Parámetro	Valor
Turbidez	2,5 NTU
Conductividad	230 μ S/cm
Temperatura	50 °C
Flujo	3,5 m ³ /h

Tabla 5.7: Parámetros de calidad de agua de refrigeración de gases

Con respecto a las aguas de refrigeración de las bombas, en la tabla 5.8 se puede ver un alto potencial de recuperación dado los parámetros de calidad, sin embargo, hay que resaltar que este flujo representa la refrigeración de un total de 18 bombas, por lo que su recuperación dependerá de encontrar un punto en común en el área.

Parámetro	Valor
Turbidez	0,749 NTU
Conductividad	160 μ S/cm
Temperatura	20 °C
Flujo	8,0 m ³ /h

Tabla 5.8: Parámetros de calidad de agua sello

5.1.5 Área Caldera de Poder

Al igual que la Caldera Recuperadora cumple el objetivo de producir vapor, sin embargo, se diferencia de la anterior al utilizar biomasa en vez de licor negro. Esto permite aprovechar la materia orgánica generada en el área de Preparación Maderas y los lodos del área de Efluentes.

5.1.5.1 Gestión del uso de agua en el área

Al igual que con Caldera Recuperadora, el agua desmineralizada es utilizada de manera eficiente en este equipo, llegando a un 97% de aprovechamiento, por lo que se desprende del balance realizado en la figura 5.7.

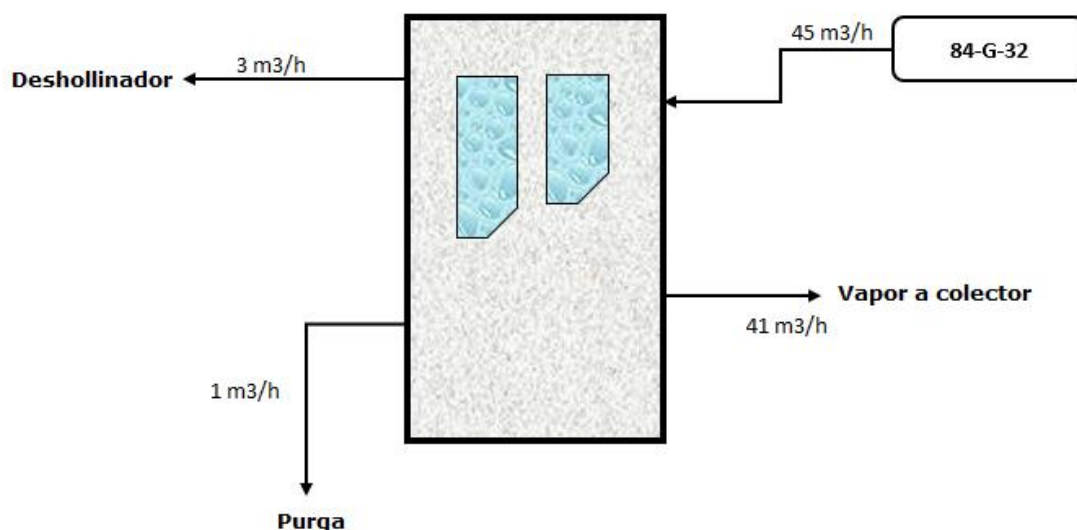


Figura 5.7: Distribución de agua en Caldera de Poder

En cuanto al uso de agua industrial para mantener la operación, se puede destacar que a lo largo de los años ha ido disminuyendo su uso, quedando únicamente disponible el ventilador de gases asociado a esta caldera.

5.1.5.2 Oportunidad de recuperación de agua

En base a las mediciones de calidad de agua de refrigeración del ventilador 73-K-202 que se muestran en la tabla 5.9, esta tendría calidad industrial, lo cual era esperable, debido a que no tiene contacto con licores. Dada la cantidad de agua dispuesta a desagüe, no solo es una buena fuente de recuperación, sino que significaría el independizar esta área del uso de agua industrial, lo cual debería ser una aspiración dentro de las áreas en las que el agua industrial no tiene un rol tan protagónico.

Parámetro	Valor
Turbidez	1,42 NTU
Conductividad	159 μ S/cm
pH	7,3 pH
Flujo	14,4 m ³ /h

Tabla 5.9: Parámetros de calidad de agua refrigeración de ventilador

5.1.6 Área Generación Eléctrica

Esta área cumple la función de utilizar el vapor de alta presión generado por las calderas para producir energía eléctrica y, a su vez, entregar vapor de baja presión al proceso de la Planta Constitución.

5.1.6.1 Gestión del uso de agua en el área

El uso de agua en esta área está principalmente enfocado en la refrigeración, sin embargo, la mayoría de los flujos de agua son recirculados o recuperados debido a la torre de enfriamiento Marley. Esta última enfría principalmente los condensados generados por el vapor, ya utilizado en la generación de electricidad.

Pese a lo anterior, se identificó dentro del área una pérdida considerable de agua en la válvula de agua industrial asociada al condensador de mezcla 74-E-50 (en el anexo F se detalla el funcionamiento de este equipo). A grandes rasgos, este equipo permite purgar vapor de baja presión del colector 74-C-40 para controlar la presión de almacén. No obstante, esta válvula también es utilizada para controlar eventos de desviación de los parámetros de tratamiento del área de efluentes, principalmente temperatura.

A pesar de que esta línea no posee medidores de flujo en el área, se utilizó los medidores del área de efluentes; se hizo una prueba de abertura de válvula al 50% y se midió el aporte de agua concluyendo que, con este porcentaje, el flujo de efluentes aumentaba en 100 l/s del valor promedio. Con este valor se cuantificó de manera proporcional el flujo correspondiente a las aberturas de válvula más utilizadas durante las rutinas de enfriamiento con agua industrial y se llegó a los datos que se muestran en la tabla 5.10.

Abertura de válvula	Flujo [m³/h]
50 %	360
30 %	216
10 %	72

Tabla 5.10: Flujos según porcentaje de abertura de válvula

Si se toma como supuesto que una rutina de control de temperatura de los efluentes se hace con cada uno de estos porcentajes de abertura de válvula por un período de 2 horas, se llega a que esto es equivalente a un flujo de 54 m³/h.

La situación anterior es bastante preocupante, ya que las rutinas no son constantes: a veces se utiliza porcentajes distintos o duraciones más extensas de apertura de válvula, dependiendo del criterio del operador o la desviación del parámetro de efluentes y el no contar con un medidor de consumo en el lugar, dificulta que el personal del área tome conciencia de cuánta agua se consume. La situación más alarmante es que el agua utilizada para refrigerar los efluentes no es recuperada, ya que el proceso de intercambio de calor es por contacto directo en la cámara general de riles de la planta.

Esta situación se debe a que los intercambiadores de calor de Planta de Agua que se encargan de refrigerar los riles de las áreas de Lavado, Clasificación y Secado en la actualidad no dan a abasto, luego que años atrás se tomara la decisión de incorporar los condensados sucios del área de Evaporadores, bajo el supuesto de que la operación de las áreas se mantendría sin modificaciones. Esto a la larga fue un error, ya que el área de Secado en los últimos 10 años ha estado reduciendo su consumo de agua industrial, pero aumentando el de agua caliente, lo cual provoca un aumento de la temperatura de los riles generados en esta área. Lo anterior ha provocado que los intercambiadores de calor no alcancen temperaturas óptimas, haciendo necesaria la utilización de agua limpia hacia desagüe para refrigerar el efluente. El mejorar esta condición depende exclusivamente de tener equipos correctamente dimensionados y que se ajusten a las necesidades de una planta química.

5.1.6.2 Oportunidad de recuperación de agua

El poder reincorporar este flujo de agua solo será posible si se reestructura el proceso de intercambio de calor, ya sea aumentando el área de intercambio o llevando parte de los riles calientes a otra área y que sean utilizados como aporte de agua caliente.

La situación con la válvula de agua industrial no puede seguir dándose en la Planta Constitución, ya que ésta es solo una solución provisoria que se ha perpetuado debido a que en el corto plazo es más económico enviar agua hacia desagüe, para mantener el buen funcionamiento de la Planta de Efluentes, que rediseñar el sistema de intercambio de calor, como se analizará más adelante.

5.1.7 Área Preparación Maderas

Esta área cumple la función de producir astillas a partir de los rollizos de madera que llegan a la Planta Constitución

5.1.7.1 Gestión del uso de agua en el área

Dentro del uso del agua en esta área, una reducción importante que se ha efectuado es el no realizar el lavado de las canchas de acopio de madera, debido a que el tiempo de residencia de los rollizos en estos sectores se ha ido reduciendo con el pasar de los años, haciendo innecesaria esta labor. Sin embargo, estas aguas no eran de origen industrial, sino que provenían del área de Tratamiento de Efluentes y el hecho de que actualmente no tengan un destino dentro del proceso productivo ocasiona que, si bien se utilice menos agua en esta área, no se vea reflejado en el consumo global.

Con respecto al uso de agua industrial, esta es utilizada en el lavado de los troncos previos a descortezar y en el mantenimiento de un flujo constante en las trampas de piedras, lo cual facilita la remoción de elementos ajenos a la producción de astillas.

El lavado de troncos se efectúa con la bomba 31-J-973 que utiliza agua industrial y la bomba 31-J-974 que utiliza agua de recuperación de la piscina 31-A-97. El agua para las trampas de piedra es impulsada por la bomba 31-J-972, la cual utiliza agua de la piscina de recuperación. Una vez que son utilizadas estas aguas se retornan a la piscina y se mantiene el ciclo, lo cual es una buena medida de reducción del consumo, ya que se aprovecha de mejor forma el recurso hídrico. Este tipo de gestión del agua es a lo que apunta el trabajo realizado por el autor.

Como se puede observar en la figura 5.8, para controlar el nivel de la piscina y eliminar los residuos que va acumulando, se utiliza la bomba 31-J-975, que envía el efluente de esta área hacia el clarificador primario. Esta bomba opera en ciclos de 30 minutos en funcionamiento, 20 minutos fuera de servicio y 60 minutos detenida durante un día normal, por lo que durante una jornada alcanza un periodo máximo de 13,5 horas en servicio. Dado el diseño de la bomba y el tiempo de operación se estimó un flujo continuo de 40,5 m³/h.

Pese a lo anterior, los resultados muestran que el flujo de entrada de agua es de 36 m³/h, lo cual indica que en el momento de realizar esta medición se estaba vaciando la piscina de agua de recuperación.

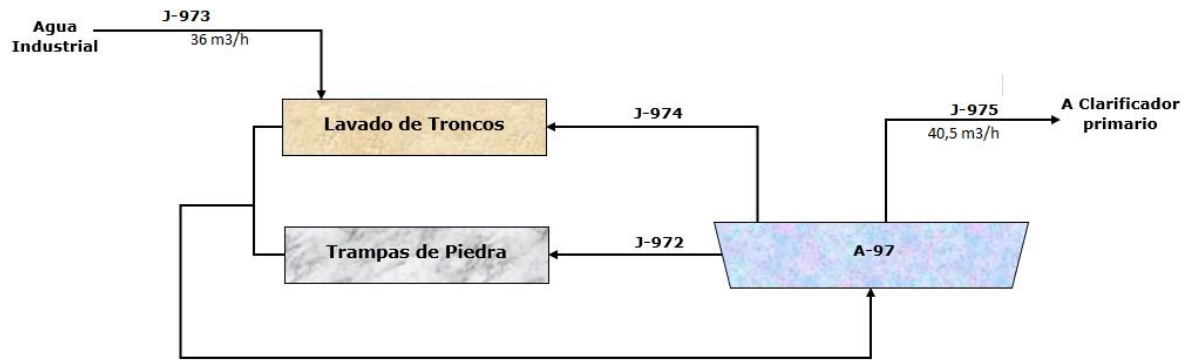


Figura 5.8: Distribución de agua en el área de Preparación Maderas

5.1.7.2 Oportunidad de recuperación de agua en el área

Debido a la gestión de agua en esta área, no se visualizan flujos que sean desaprovechados, sin embargo, no se descarta que el agua industrial utilizada en el área pueda ser reemplazada por otro flujo de recuperación que no comprometa la producción de astillas, por lo cual existe el potencial de ayudar a reducir el consumo de la planta.

5.1.8 Área Digestores

Esta área cumple la función de extraer la celulosa de la madera. En el anexo F se detalla el funcionamiento del área de Digestores.

5.1.8.1 Gestión del uso de agua en el área

Esta resulta ser una de las áreas más importantes en cuanto a la distribución de agua caliente en la planta, recibiendo alrededor de 523 m³/h de condensados limpios desde el área de Evaporadores en el estanque 33-G-71, los cuales por medio de intercambiadores de calor necesarios para controlar la temperatura de los licores del área de Digestores, permite aumentar la temperatura del agua que circula llegando al estanque de aguas calientes 32-G-74 que distribuye a las áreas de Secado, Caustificación por medio del estanque 63-G-19 y al área de Lavado y Clasificación, como se muestra en la figura 5.9.

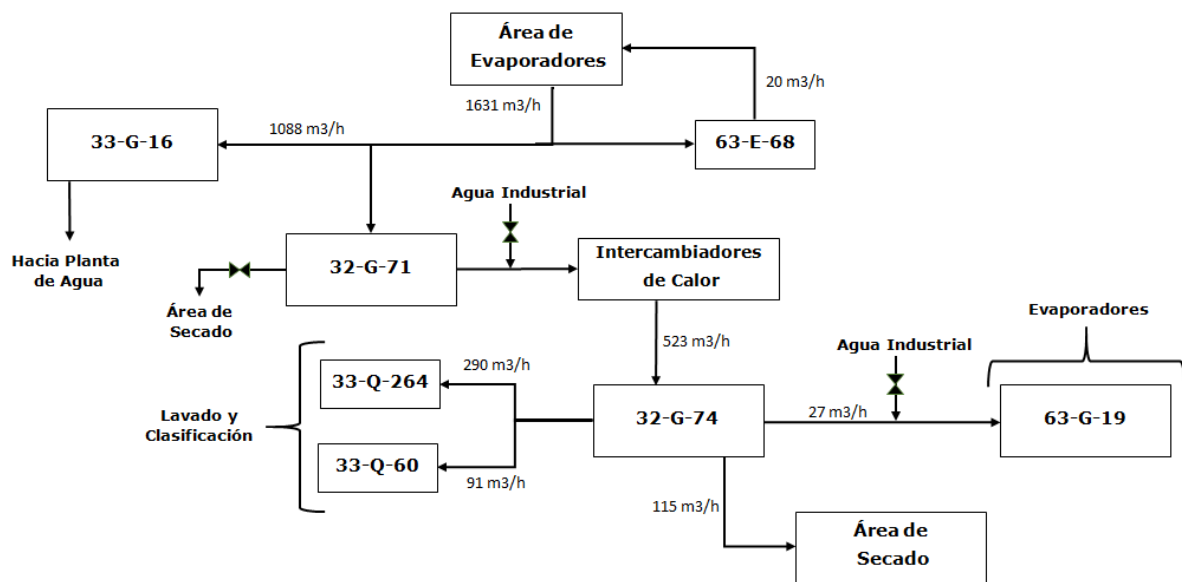


Figura 5.9: Distribución de agua caliente área de Digestores⁴

Este resultado es bastante útil ya que cualquier modificación del circuito de aguas calientes se verá reflejada en este balance.

Por otro lado, el uso de agua industrial representa un flujo de 268 m³/h el cual, en términos de consumo, se distribuye como inyecciones de agua fría en el sistema de aguas calientes, refrigeración de bombas del área que operan con sellado por empaquetadura y aseo del área como se puede observar en la figura 5.10. Cabe destacar que en esta área ocurre un problema similar al que se discutió en el capítulo de Caldera Recuperadora con respecto a las bombas con agua sello; se cuantificó que 23,3 m³/h se van a desagüe como agua de refrigeración, lo que sería correspondiente a un total de 30 bombas.

⁴ Flujos que se muestran con válvulas en la figura 5.9 no son continuos, al momento de efectuarse las mediciones de flujo estas válvulas permanecían cerradas por lo que deberán considerarse como flujos de 0 m³/h.

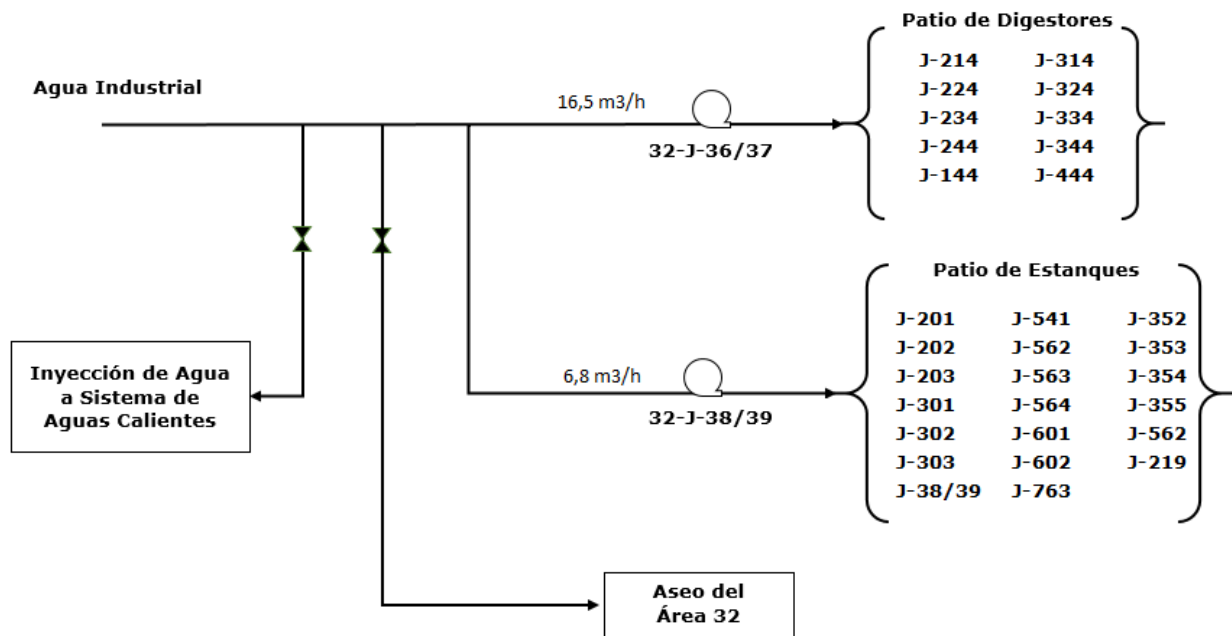


Figura 5.10: Distribución de agua en área de Digestores

5.1.8.2 Oportunidad de recuperación de agua

Es posible señalar que el agua de bombas sello tiene potencial de ser reutilizada gracias a los parámetros de calidad de agua que se pueden visualizar en la tabla 5.11.

Parámetro	Valor
Turbidez	1,62 NTU
Conductividad	164 μ S/cm
pH	7,2 pH
Flujo	23,3 m ³ /h

Tabla 5.11: Parámetros de calidad de agua sello

Pese a lo anterior, una de las dificultades que tienen estos flujos es que, por un lado, están disgregados por las canaletas de desagüe alrededor del área, al igual que en Caldera Recuperadora y, además, esta área es una de las más expuestas a derrames de licor, por lo que una propuesta de mejora asociada a la recuperación de esta agua deberá tener en cuenta este problema al momento de querer segregar estos flujos.

Otro flujo posible de reemplazar, con el fin de reducir el consumo de agua, es el asociado al aseo de las áreas; periódicamente es necesario limpiar el área con una manguera de alta presión, por lo que una medida útil

sería reemplazar el uso de agua industrial por un flujo que también vaya a desagüe, pero que antes sea aprovechado para arrastrar la suciedad y los derrames ocasionados en el área, ya que el uso de agua industrial en esta tarea no se justifica. El flujo estimado de estas mangueras fue de 5 m³/h, sin embargo, el consumo depende del porcentaje de abertura de la válvula manual y del tiempo que permanece en servicio, según lo determine el operador.

5.1.9 Área Lavado y Clasificación

Esta área cumple la función de obtener una pulpa de celulosa limpia y recuperar el licor negro formado luego de la cocción de la madera. El funcionamiento del área puede ser revisado en el anexo F.

5.1.9.1 Gestión del uso de agua en el área

El uso de agua industrial es más acotado en esta área, representando un total de 63 m³/h distribuido como se muestra en la figura 5.11.

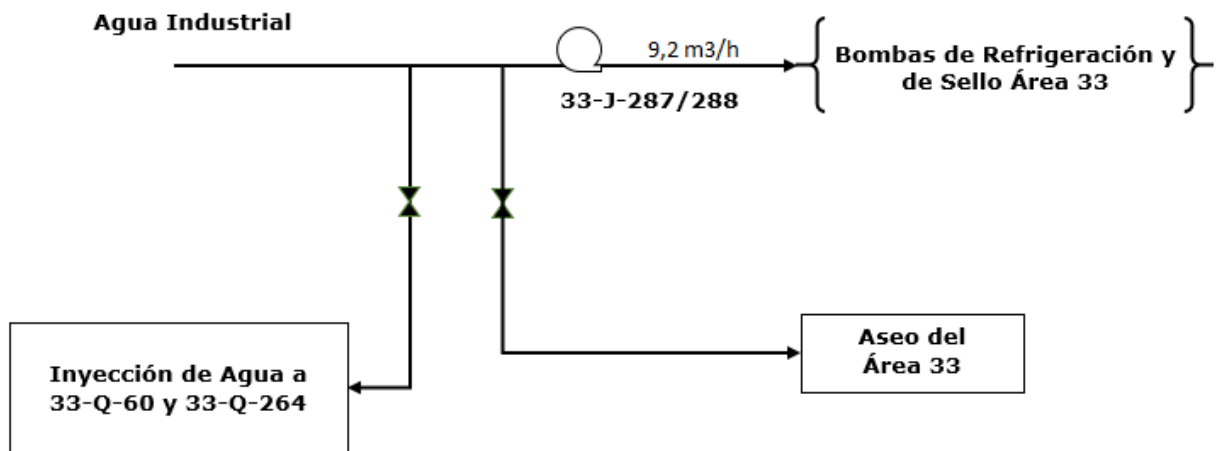


Figura 5.11: Distribución de agua en el área de Lavado y Clasificación⁵

El bajo consumo de agua industrial se debe a que para el lavado de la pulpa es necesario utilizar agua caliente; como se mostró en la figura 5.9, el área de Lavado y Clasificación requiere un flujo mayor a 300 m³/h para la operación de los filtros lavadores.

⁵ Flujos que se muestran con válvulas en la figura 5.11 no son continuos, al momento de efectuarse las mediciones de flujo estas válvulas permanecían cerradas por lo que deberán considerarse como flujos de 0 m³/h.

Al igual que en el área de Digestores, en Lavado y Clasificación, también se requiere de un flujo de agua destinado a al aseo, sin embargo, esto es más ocasional, ya que se debe a derrames de licor negro cuando una bomba de empaquetadura requiere de mantención.

Se cuantificó un flujo total de 9,2 m³/h asociado a la refrigeración de las bombas de sello de empaquetadura, lo cual es menor que en el área anterior, ya que la operación de esta área está más centrada en la limpieza de la pulpa de celulosa. En cambio, en el área de Digestores (como se muestra en el anexo F), es necesario recircular el licor blanco para remover la lignina de la fibra y, al ser un área que dispone de 10 digestores, es normal que requiera un mayor flujo de refrigeración en comparación con esta área.

5.1.9.2 Oportunidad de recuperación de agua en el área

Se identifica como posible medida el reemplazar el agua caliente utilizada en el lavado de la pulpa de celulosa, ya que esta es de calidad industrial. En su lugar sería posible utilizar otro flujo de agua caliente de menor calidad, pero con la misma capacidad de remover la suciedad y con ello, disminuir el consumo de agua caliente, destinando un mayor flujo de refrigeración hacia las piscinas de almacén de agua industrial a través del estanque 33-G-16.

Otra opción de recuperación de agua es el caso del agua sello, cuyos parámetros de calidad de agua son detallados en la tabla 5.12. Esta presenta dificultades similares al agua sello del área de Digestores, por lo que la segregación de este flujo y la detección de contaminación juegan un rol importante en cuanto a medidas de recuperación.

Parámetro	Valor
Turbidez	1,7 NTU
Conductividad	166 μS/cm
pH	7,4 pH
Flujo	9,2 m ³ /h

Tabla 5.12: Parámetros de calidad de agua sello

5.1.10 Área de Secado

Esta área se encarga de recibir la pulpa de celulosa y, por medio secado con flujos de aire caliente y un equipo Fourdrinier, se llega al producto final de celulosa en forma de hojas, las cuales son empaquetadas en fardos y distribuidas para comercio (para más información del proceso, revisar el anexo F).

5.1.10.1 Gestión del agua en el área

Gran parte del agua caliente en el área de secado es utilizada en un circuito cerrado para la etapa de preparación de la pasta de celulosa, la que luego es drenada y reutilizada en el sistema de estanques de almacén, lo que permite mantener constante la consistencia de la pasta de celulosa a la entrada del Fourdrinier. Es natural la generación de efluente en esta área, dado que es necesario que se vaya renovando el agua utilizada en el circuito, por medio de inyecciones de agua industrial y agua caliente en los estanques de almacén. Esta modalidad de operación es valorable, ya que significa reaprovechar el agua en el área y apunta a un consumo reducido.

Se pudo constatar, en base a las mediciones de los equipos de refrigeración en la tabla 5.13, que 91,24 m³/h de agua son necesarios para mantener el funcionamiento del área lo cual, acorde al balance de aguas en que se muestra en la figura 5.12, significa que 54% del agua industrial es utilizada solo en refrigeración de las bombas de vacío del equipo Fourdrinier, prensa de fardos de celulosa y sistema de aceite.

Refrigeración de equipo	Flujo m³/h
Prensa de fardos	6,0
516-J-13	32,0
516-J-11A	13,0
516-J-11B	12,0
516-J-12A	12,0
516-J-14A	12,0
Sistema de refrigeración aceite	4,2

Tabla 5.13: Flujo de agua en Área de Secado

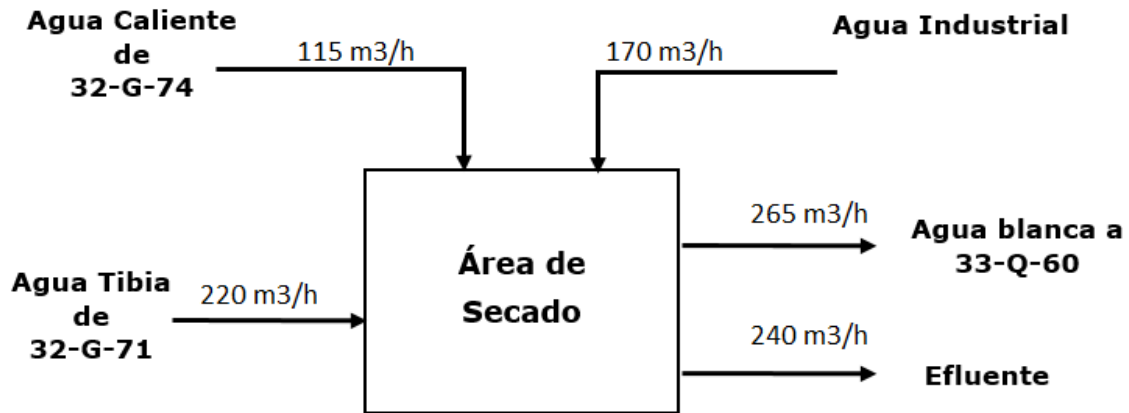


Figura 5.12: Distribución de agua en área de Secado

Otra temática discutida en capítulos anteriores es que a lo largo de los años se ha visto una tendencia a disminuir los consumos de agua industrial en el área de Secado, sin embargo, esto se ha debido a un uso más enfocado en el uso de aguas calientes proveniente del estanque 32-G-74, lo cual se puede ver reflejado en la figura 5.13. La demanda de agua caliente en el área de secado ha ido en aumento, lo cual, si bien es beneficioso, ya que significa el reutilizar en mayor medida el agua proveniente del área de evaporadores, permitiendo a las demás áreas disponer de un mayor flujo de agua industrial fría en sus procesos, no se ve reflejado en el consumo global de la planta, ya que se sigue utilizando el mismo recurso.

El aumento del uso de agua caliente en el área de secado se debe a que, en la práctica, permite una mejor separación de las hojas de formación, mejor viscosidad de la pulpa y una operación más eficiente, por lo que es esperable que el consumo de agua caliente siga en aumento en el corto plazo hasta estabilizarse.

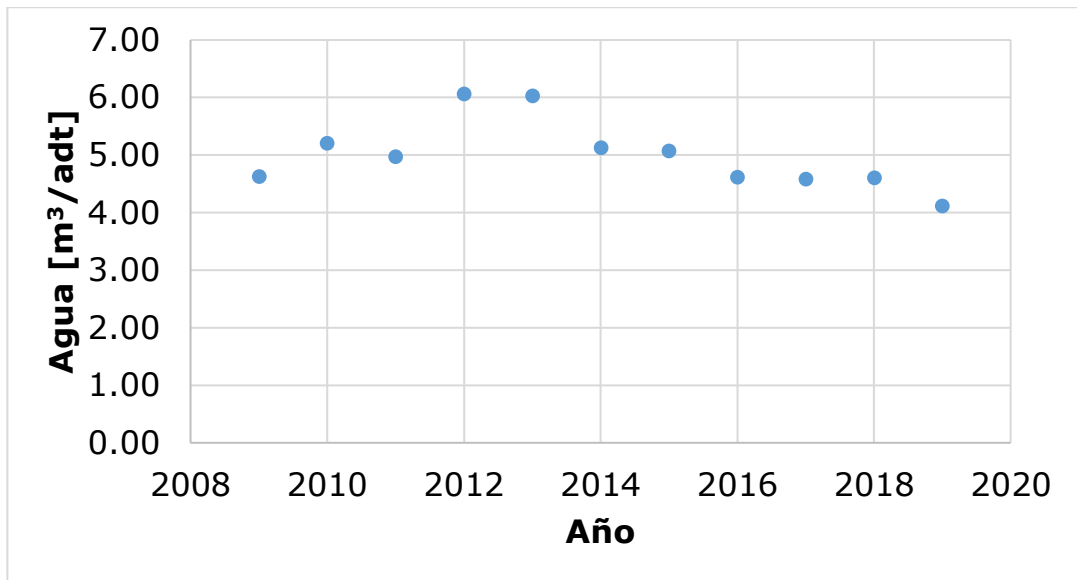


Figura 5.13: Historial de consumo de agua fría en el Área de Secado

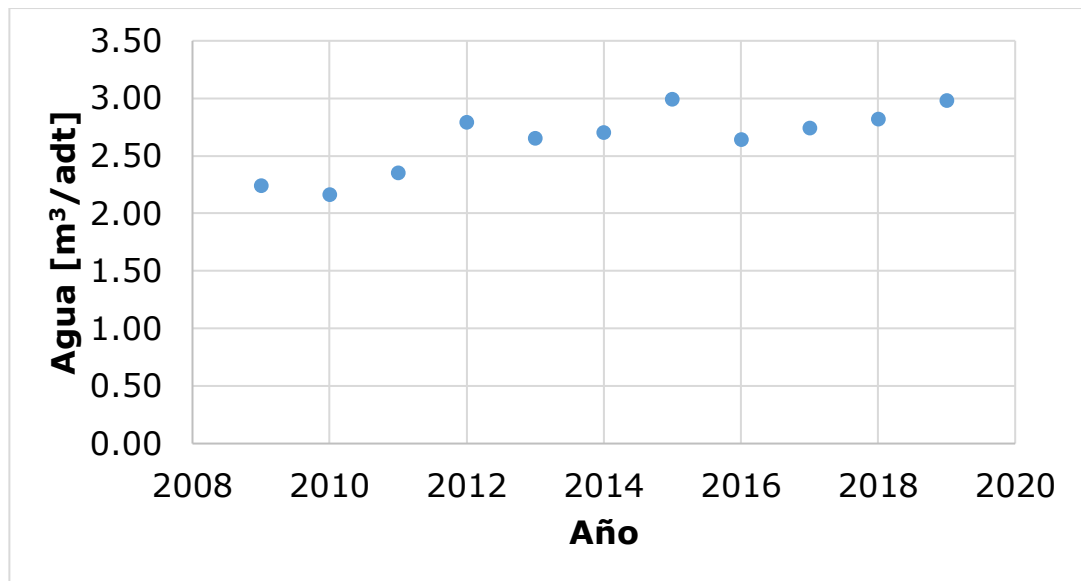


Figura 5.14: Historial de consumo de agua caliente en el Área de Secado

5.1.10.2 Oportunidad de recuperación en el área

A partir del estudio realizado se pudo verificar que, del flujo de refrigeración destinado a las bombas de vacío, solo el de la 516-J-13 es recuperado hacia el estanque 511-G-15, mientras que los otros flujos son llevados a un pozo de recuperación que solía utilizarse para el lavado de dos canchas de madera cercanas al área y que en la actualidad está en desuso,

por lo que el rebalse del pozo se envía hacia efluentes, el cual se cuantificó en 59,2 m³/h. Esta fuente de agua, si bien no tiene contacto con licores, presenta riesgo de contaminación por la suciedad del lugar, ya que se encuentra a la intemperie. El hecho de que actualmente exista un sistema de recuperación anterior de aguas hace que este flujo sea muy atractivo de ser recuperado, ya que principalmente se debería aislar de fuentes de contaminación y llevar a otro destino con los implementos que ya se dispone dentro del área como son líneas de impulsión y bombas.

5.1.11 Área Evaporadores

Esta área cumple la función de recibir el licor negro que proviene del área de digestores y concentrarlo, por medio de la inyección de vapor al sistema de equipos de evaporadores, hasta llegar a un porcentaje de sólidos combustibles cercano al 70%, que es la capacidad a la que opera la Caldera Recuperadora (para más información del funcionamiento del área revisar el anexo F).

5.1.11.1 Gestión del uso de agua en el área

El mayor consumo de agua se puede visualizar en lo que es el enfriamiento de los vahos en los condensadores E-40A y E-41 y E-74, que se realiza a través de un flujo de agua industrial. Esta agua se entibia en estos condensadores y se envía hacia el estanque 32-G-71 de agua caliente del área Digestores, mientras el agua sobrante es enviada al estanque 33-G-16, el cual la lleva a la torre de refrigeración para su recuperación en las piscinas de almacenamiento de agua industrial. Dada la magnitud de la operación y el dimensionamiento de los equipos es necesario un flujo de 1631 m³/h, el cual provee en su totalidad agua caliente para las otras áreas de la Planta Constitución. Es importante comentar que disminuciones a futuro del uso de agua caliente se verán reflejadas como un mayor flujo a recuperar en el estanque 33-G-16, por ende, una buena forma de abordar esta situación es que se empiece a incluir en los informes de operación el porcentaje de agua recuperada a partir del recurso utilizado en esta operación el cual, acorde a los resultados de la sección anterior, actualmente estaría en un rango de 66%. Como objetivo de la Planta se debiese apuntar a aumentar esta relación de recuperación y se sugiere que sea incorporado como un KPI dentro de la planta, ya que como se ha podido ver hasta el momento en esta sección, dentro de la planta existen otras fuentes de agua caliente que, de reaprovecharse, significarían acotar el objetivo de reducción del uso de agua a futuro.

Otra fuente de agua utilizada es la que tiene que ver con el condensador de gases asociado al Stripper 63-E-53. Dentro de la operación

de la columna de agotamiento existe un flujo de vahos que se desprende de la parte superior de los pre calentadores de licor (E-36, E-37, E-51, E-52 y E-58), para la cual existe el enfriador 63-E-53 que funciona con un flujo de agua industrial, recuperado al estanque de aguas calientes de 63-G-19, y que significa un consumo de 50 m³/h como se puede visualizar en la figura 5.15. Este es significativo para la operación, ya que permite proveer de agua caliente al área de Caustificación, una de las que demandan mayor cantidad de agua caliente de este estanque, además de ser una medida que va en la línea de aprovechar las aguas generadas por el uso en otras operaciones.

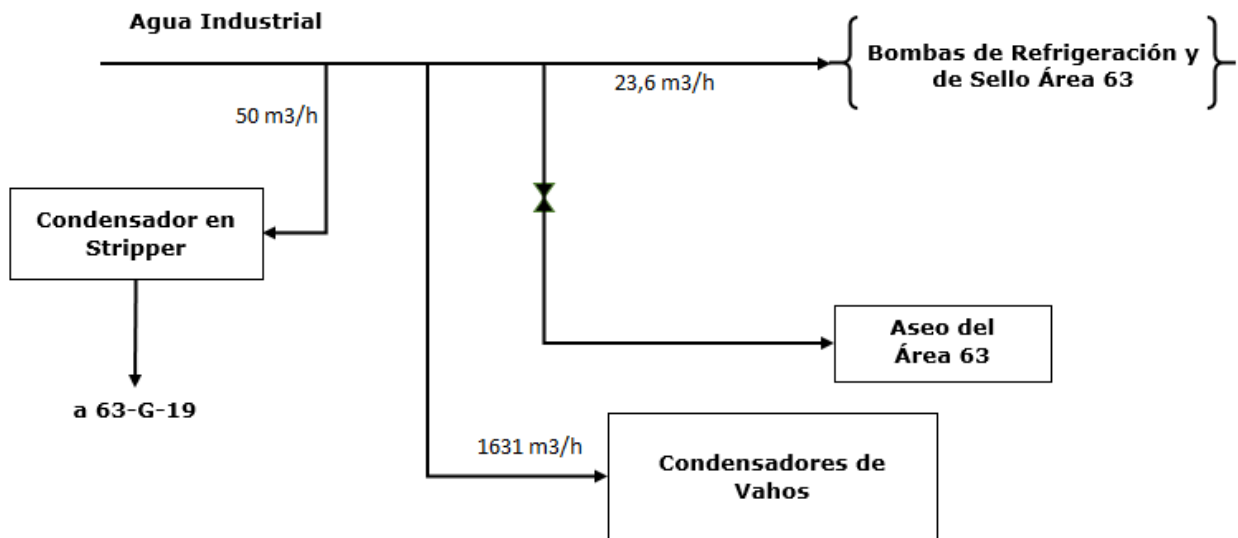


Figura 5.15: Distribución de agua en área de Evaporadores⁶

Otro tema importante que se vuelve a tocar en esta sección es el relacionado con las aguas sello de las bombas con empaquetadura. Debido a la extensión del área y la cantidad de equipos asociados para tratar 5880 m³ de licor negro débil diariamente, se justifica que ésta sea una de las áreas con mayor número de bombas de impulsión, pudiendo identificarse un total de 46 bombas de este tipo. Por cronometría se concluyó que, para refrigerar el total de estas bombas, es necesario un flujo de 23,6 m³/h, el cual es dispuesto hacia desagüe (en el Anexo B se puede ver el detalle de las mediciones realizadas).

⁶ Flujos que se muestran con válvulas en la figura 5.15 no son continuos, al momento de efectuarse las mediciones de flujo estas válvulas permanecían cerradas por lo que deberán considerarse como flujos de 0 m³/h.

5.1.11.2 Oportunidad de recuperación dentro del área

Se identifica una oportunidad importante respecto al agua sello de las bombas de impulsión, ya que esta es enviada en su totalidad al pozo de recuperación 63-A-91. Este último cuenta con medidores de conductividad y una compuerta automática que, en el caso de haber derrames de licor, permite que este sea recuperado hacia el estanque 72-G-10, de lo contrario, es derivado a la planta de tratamiento de efluentes. Se pudo constatar que, durante la operación normal de esta área, el agua refleja una conductividad menor a 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como se muestra en la tabla 5.14, por lo que resulta ser una fuente muy prometedora de recuperación ya que, a diferencia de los otros casos de aguas sello, en esta área ya se cuenta con un pozo de recuperación y solo sería necesario incorporar mayor instrumentación, con el fin de tener una nueva vía para reincorporar este flujo. Un cambio importante y necesario de poner en práctica en la planta es la implementación de sistemas de recuperación con el mismo énfasis que el dado a la recuperación de licores derramados.

Parámetro	Valor
Conductividad	162 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Turbidez	2,5 NTU
pH	8,2 pH

Tabla 5.14: Parámetros de calidad de agua de pozo

5.1.12 Área de Caustificación y Horno de Cal

Esta área se encarga de producir licor blanco a partir del licor verde generado por la combustión del licor negro. El proceso consiste, a grandes rasgos, en que el Na_2CO_3 presente en el licor verde se hace reaccionar con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ lo cual permite obtener CaCO_3 (lodo blanco) y NaOH (Licor blanco). El lodo blanco se lleva al horno, donde por medio de una reacción de calcinación se obtiene CaO , el cual posteriormente reacciona con agua obteniendo $\text{Ca}(\text{OH})_2$, compuesto que se utiliza en la primera reacción. Debido a lo anterior, pese a que ambas áreas se encuentran separadas, están muy ligadas entre sí.

5.1.12.1 Gestión del agua en el área

El consumo de agua en el caso del horno de cal está casi totalmente enfocado en la refrigeración de los descansos, lo cual permite el movimiento del horno giratorio. Este sistema consiste en ocho puntos de refrigeración como se muestra en la figura 5.16, con sus flujos respectivos medidos en el lugar.

Ubicación	Flujo [m³/h]
Estación 1 L.N.	0,63
Estación 1 L.S.	1,44
Estación 2 L.N.	0,92
Estación 2 L.S.	1,64
Estación 3 L.N.	1,64
Estación 3 L.S.	1,06
Estación 4 L.N.	0,97
Estación 4 L.S.	1,24
Total	9,54

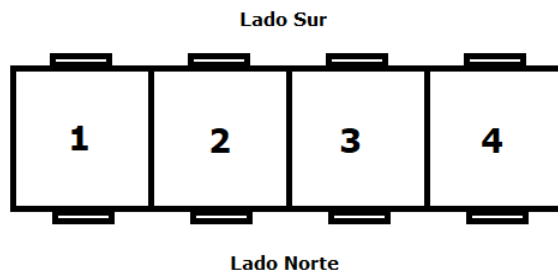


Figura 5.16: Flujo de refrigeración de Horno de Cal

Una vez utilizadas, estas aguas son enviadas al sistema de canaletas de desagüe como parte de los riles del área de Caustificación no siendo aprovechadas en el proceso. Esto se debe principalmente a que no se han hecho modificaciones en el horno desde que la planta inició sus operaciones, siendo esta situación uno de los últimos vestigios de la época en que no existía una preocupación por el consumo de agua y solo se le daba prioridad a maximizar la producción.

Otro consumo identificado es el de la refrigeración de la correa transportadora 65-P-11, la cual permite alimentar lodo blanco y piedra caliza al Horno de Cal. Esta refrigeración representa un consumo de 2 m³/h, sin embargo, al estar ubicada en un área expuesta constantemente a restos de piedra caliza y lodo blanco, hace que sea inviable la recuperación debido a la contaminación presente en el lugar (otros usos de agua en menor cantidad se señalan en el anexo F).

Caustificación, por otro lado, tiene un uso de agua industrial importante en las bombas de vacío 66-J-332 y 66-J-422, las que permiten la operación de los filtros de tambor 66-Q-33 y 66-Q-42. En la figura 5.18 se puede visualizar el impacto que tuvo una disminución de aproximadamente 50% del flujo de agua industrial original de estas bombas a partir del año 2016 en que se tomó la medida y en donde posteriormente los parámetros de desempeño del área se mantuvieron estables. En ella se puede ver que el consumo de agua industrial disminuyó en un 30% del total, llegando al escenario actual de consumo de Caustificación que se muestra en la figura 5.17.

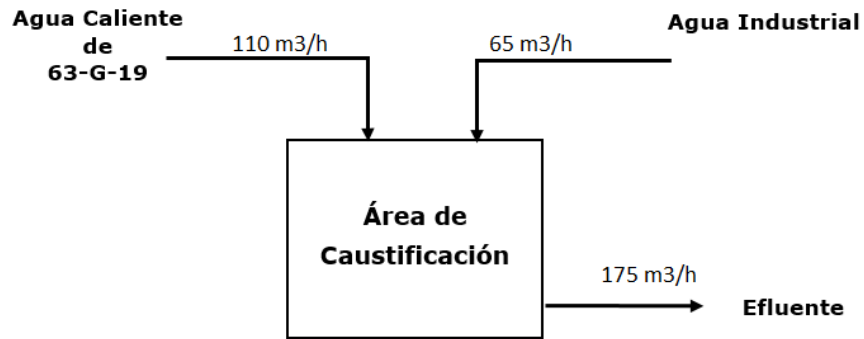


Figura 5.17: Distribución de agua global en área de Caustificación

Actualmente la bomba 66-J-332 opera con un flujo de 11,4 m³/h mientras que la bomba 66-J-422 opera con 15,9 m³/h. Este tipo de situaciones son comunes en las plantas químicas con larga trayectoria; muchas veces ocurre que se tiene fijo un parámetro de operación durante muchos años hasta el punto en que se desconoce la justificación, sin embargo, se sigue utilizando el mismo valor ya que generaciones anteriores de trabajadores lo utilizaban de igual manera. El modificar estos valores refleja lo importante que es tener una mirada crítica de un proceso y dar cabida para experimentar, ya que el reducir el consumo de agua puede llegar a ser tan sencillo como cerrar un poco más una válvula.

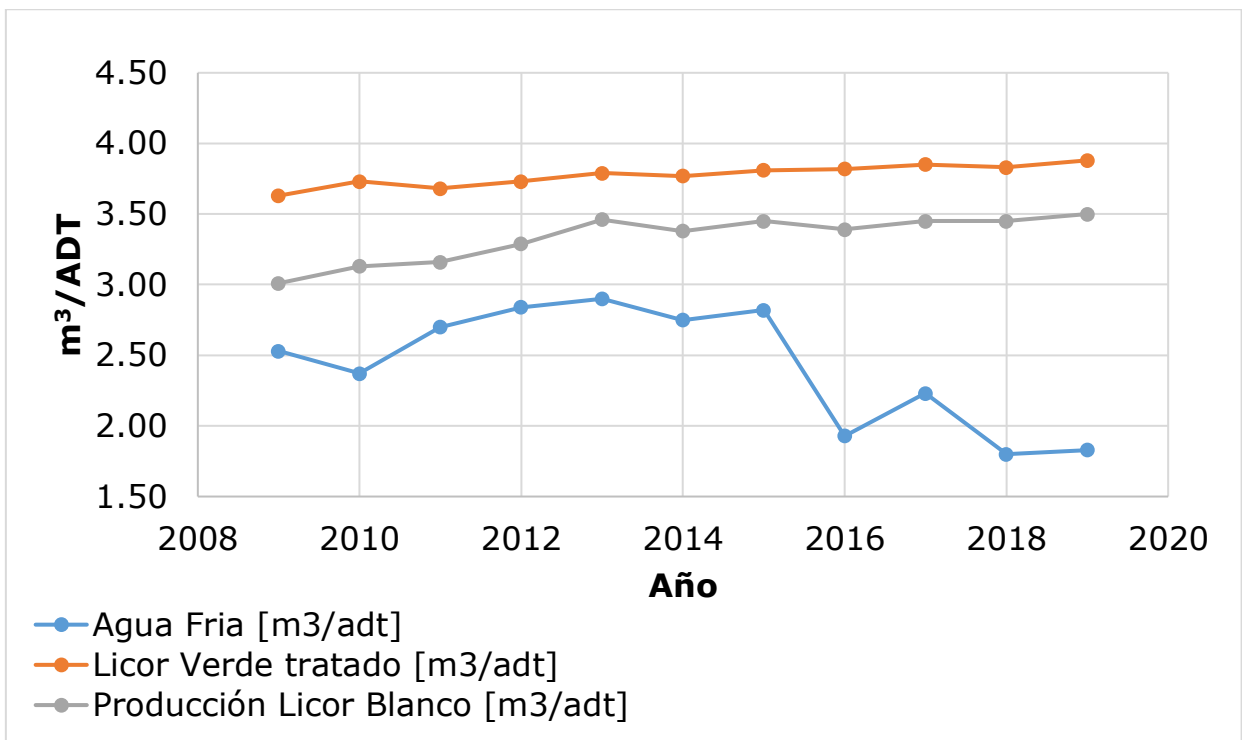


Figura 5.18: Desempeño del área de Caustificación

El agua utilizada por la bomba 66-J-332 es recuperada en un pozo, lo cual permite disminuir la demanda de agua caliente de la línea general del estanque 63-G-19. Esto se realiza por medio de una bomba sumergible que envía el agua hacia los estanques 66-G-19/23 y con ello se asegura que el filtro 66-Q-33 no le falte agua caliente, sin embargo, esto solo se realiza ocasionalmente, ya que en operación normal el agua de refrigeración de las bombas en su totalidad se dispone hacia desagüe. Si bien esta medida ayuda en parte a reducir el uso de agua, su motivación se basa en la escasez de agua caliente que, en ciertas situaciones, se genera debido a la operación.

Otros consumos de agua industrial en el área se ven en las bombas que trabajan con sello de empaquetadura, se estima que en base a los consumos promedio de las bombas del área de Evaporadores y a la cantidad de bombas que hay en el área de Caustificación que el consumo de agua sello no debiese superar 13,5 m³/h, no obstante, debido a que existen flujos con mayor urgencia de ser reincorporados, es que se sugiere a futuro abordar esta recuperación.

5.1.12.2 Oportunidad de recuperación en el área

En base a lo anterior se puede señalar que para el área de Horno de Cal la recuperación de agua de los descansos es una prioridad, ya que como se puede ver en los parámetros de calidad en la tabla 5.15, está dentro del

parámetro de agua industrial y no existe riesgo de contaminación, por lo que por medio de un colector se podrían reincorporar al proceso.

Parámetro	Valor
pH	8,1 pH
Conductividad	191 μ S/cm
Turbidez	2,1 NTU
Temperatura	15° C

Tabla 5.15: Parámetros de calidad de agua refrigeración Horno de Cal

Con respecto al área de Caustificación se puede comentar que el recuperar el agua de refrigeración de las bombas de vacío es algo importante dentro del área, no solo por el hecho de que significaría una reducción de consumo de agua, sino que actualmente el área requiere de un estanque propio de aguas calientes para la limpieza de los filtros de licor blanco y licor verde. El incorporar estas aguas significaría reducir hasta un 30% la demanda de agua caliente. No se tomaron muestras de estas aguas, debido a que se requería de autorización para entrar en un espacio confinado y el hecho de que estén estos flujos aislados de la operación de los filtros presurizados es suficiente para asegurar que se encontraría en el mismo rango de parámetros de calidad que el agua industrial.

5.1.13 Área Tratamiento de Efluentes

La Planta de Tratamiento consta de dos sistemas independientes: el tratamiento primario y el tratamiento biológico. En conjunto, ambos procesos cumplen el objetivo de tratar las aguas que no son reutilizadas por la Planta de Celulosa, ya sea por el nivel de contaminantes alcanzado o debido a la tecnología actual disponible en las áreas de producción, que impiden la reincorporación de las aguas hacia la red de distribución (para más información del proceso de tratamiento revisar el anexo F).

5.1.13.1 Gestión del uso de agua en el área

En términos de consumo, el uso de agua es bastante acotado en esta área; al ser un proceso de tratamiento de efluentes, el agua utilizada solo es requerida para labores de limpieza de equipos de separación como es el caso del filtro de bandas, que requiere de un flujo de 18 m³/h, y para la preparación de reactivos, como es el caso de la urea que requiere de 8 m³ cada tres días para dosificación en el proceso.

La construcción de la Planta de Tratamiento de Efluentes fue una medida que se implementó en el año 2007 en la Planta Constitución; previo a esto solo se utilizaban lagunas de decantación y no existía mayor control del tratamiento de los riles. En sus inicios, el clarificador primario tenía el objetivo principal de abastecer de agua para el riego de canchas del área de Preparación de Maderas, con el fin de mantener humectados los troncos almacenados y así conservar las propiedades de la madera. Sin embargo y debido a que en la actualidad los troncos no tienen un tiempo de residencia mayor a tres meses, es que se optó por cesar esta labor. Es por esto que la totalidad del flujo es destinado hacia la cámara de Neutralización, una medida que responde a las capacidades del proceso, al no existir otra vía de destino para la recuperación de agua.

También es importante resaltar que, en términos de diseño, el clarificador primario tiene una capacidad de tratamiento del orden de 720 m³/h, sin embargo, acorde a los resultados de la figura 5.19, se puede ver que este equipo funciona a una capacidad menor al 10%. El autor considera que ésta fue una medida innecesaria en su momento, ya que desde que está en funcionamiento, el área ha operado con los mismos parámetros y en 13 años no ha habido indicios por incorporar otros flujos, por lo que el hecho de que fuese construido con las dimensiones actuales solo puede atribuirse a una decisión económica.

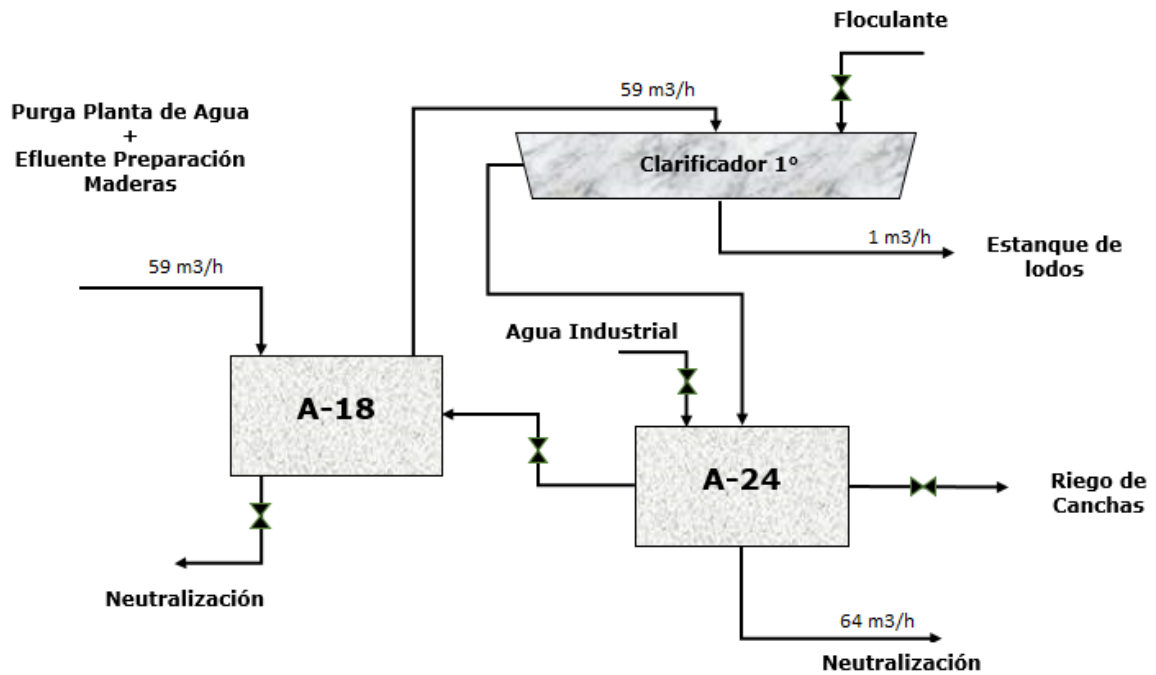


Figura 5.19: Distribución de agua en Clarificador 1^o⁷

5.1.13.2 Oportunidad de recuperación dentro del área

Dada las características del agua de salida del clarificador primario que se muestran en la tabla 5.16, es posible visualizar una oportunidad de recuperación de agua importante dentro del área, ya que el efluente tratado por el clarificador no tiene contacto con licores y en la actualidad al ser derivado al tratamiento secundario hace que se pierda su potencial y solo tenga un efecto de dilución de la carga de contaminantes. Es importante que se tenga en cuenta que la dosificación de reactivos para el clarificador secundario deberá ser reajustada a los parámetros de operación de cuando se realizaba el lavado de canchas, con el fin de mantener inalterado los parámetros de salida del efluente tratado.

Parámetro	Valor
Turbidez	13,4 NTU
Conductividad	204 μ S/cm
pH	7,1
Flujo	59 m ³ /h

Tabla 5.16: Parámetros de calidad de agua Clarificador 1^o

⁷ Flujos que se muestran con válvulas en la figura 5.19 no son continuos, al momento de efectuarse las mediciones de flujo estas válvulas permanecían cerradas por lo que deberán considerarse como flujos de 0 m³/h.

5.2 Evaluación Económica

Con el fin de evaluar el impacto económico que tiene actualmente el no reaprovechar el recurso hídrico, se cuantificó el costo de producir agua de calidad industrial y no industrial según el anexo D de costos. Se tomó este enfoque para analizar la situación, ya que el no reaprovechar estos flujos determinados y caracterizados en la sección anterior, significa extraer del río Maule una cantidad equivalente de agua cruda, lo cual implica volver a invertir en un recurso que ya se encontraba disponible en la Planta de Celulosa.

5.2.1 Impacto de Reducción del uso de Agua

En base al estudio realizado en la planta Constitución se identificó un total de 7968 m³ de agua diaria que se puede reaprovechar dentro del proceso y con ello, reducir en un 17% el consumo actual de la Planta de Celulosa. Esto significaría que el consumo actual de 52 m³/adt se reduciría por lo menos a un valor de 43 m³/adt al implementar estrategias de recuperación.

En la tabla 5.17 se puede ver en resumen los flujos de agua identificados según el área y la operación, con sus costos respectivos de tratamiento e impulsión, los cuales se traducen en pérdidas al no ser reincorporados al proceso. Adicionalmente en esta tabla se menciona un número de ubicación que tiene la finalidad de poder visualizar, posteriormente en la figura 5.20, dónde se plantearán las modificaciones propuestas para la Planta Constitución. En rojo se señalan los equipos y líneas específicas involucradas, mientras que en amarillo se señalan las áreas en donde se propone a nivel general recuperar aguas de sello y/o de refrigeración de bombas.

N° de Ubicación	Área	Operación	Flujo [m³/h]	Pérdida [CLP/mes]
1	Planta de Agua	Muestreadores	5,0	75.869
2	Desmineralizado	Lavado de filtros	16,7	250.890
3	Desmineralizado	Rechazo de osmosis	25,0	376.335
4	Desmineralizado	Rechazo de condensado	4,0	178.274
5	Evaporadores	Agua sello	23,6	1.051.815
6	Caldera Recuperadora	Canaletas de fundido	0,7	28.969
7	Caldera Recuperadora	Lavado de gases	3,5	155.990
8	Caldera Recuperadora	Agua sello	8,0	356.548
9	Caldera de Poder	Agua refrigeración	14,4	641.786
10	Efluentes	Clarificador 1º	60,0	903.204
11	Digestores	Agua sello	23,3	1.038.445
12	Lavado y Clasificación	Agua sello	9,2	410.030
13	Horno de Cal	Descansos	9,5	563.147
14	Caustificación	Bomba de vacío	15,9	708.638
15	Turbogenerador	Válvula de agua	54,0	2.406.696
16	Secado	Pozo de aguas de refrigeración	59,2	4.385.743
-	Subtotal con tratamiento	Agua industrial	225,3	11.926.080
-	Subtotal sin tratamiento	Agua no industrial	106,7	1.606.298
-	Total	Planta	332,0	13.532.379

Tabla 5.17: Balance de pérdidas económicas

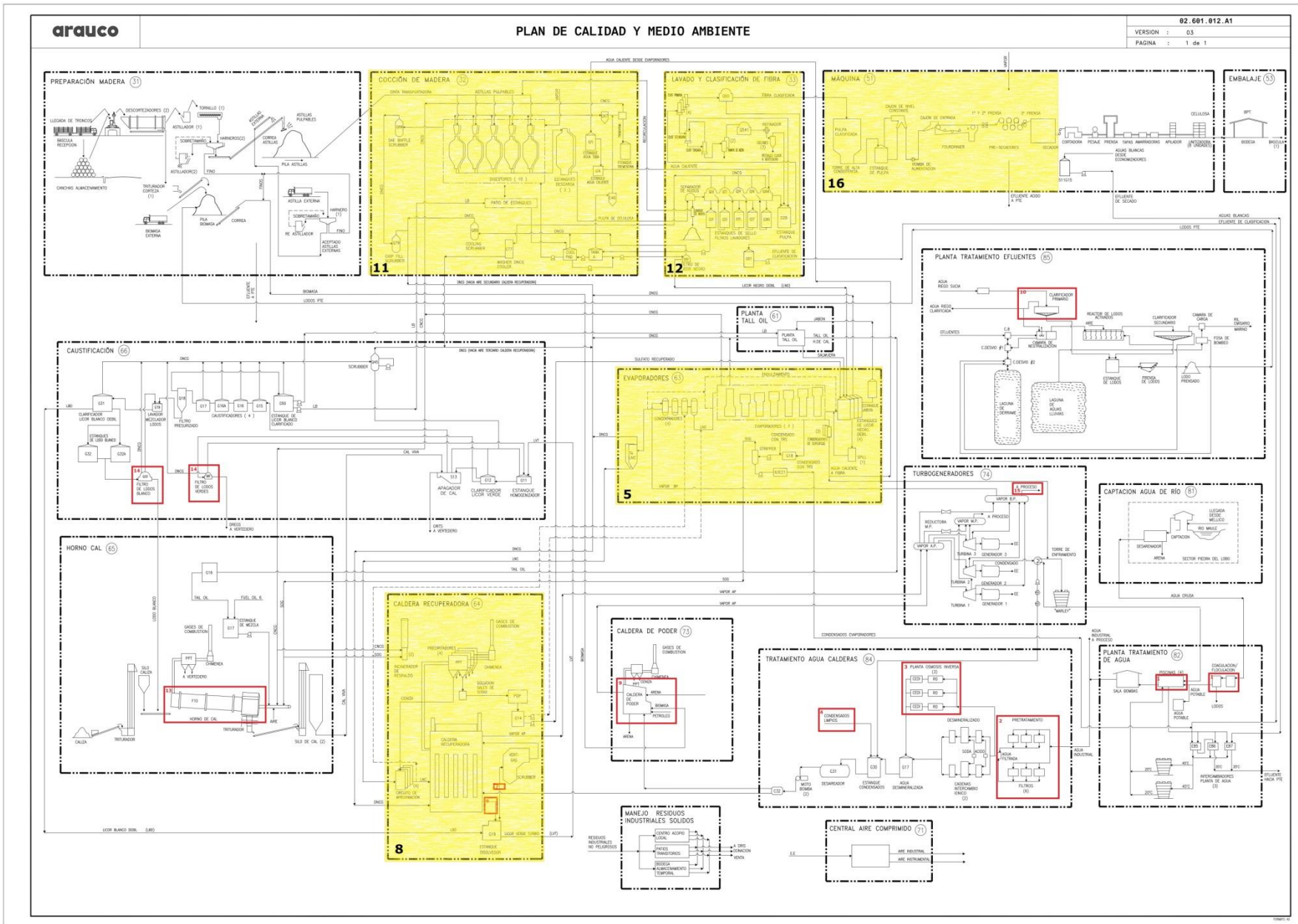


Figura 5.20: Flowsheet de modificaciones Planta Constitución⁸[8]

⁸ Para mejor visualización de la figura 5.20 acceder a formato digital del documento

5.2.2 Otros Costos

Frente a un escenario complejo de escasez hídrica se puede tomar como referencia la región de Coquimbo, en donde la disponibilidad de agua para la agricultura, ganadería y consumo humano se ha visto fuertemente afectada. Con el fin de afrontar esta situación, el gobierno regional de Coquimbo tomó la decisión a principios del año 2020 de destinar alrededor de \$3.253 millones de pesos para mitigar los efectos de la escasez y asegurar la disponibilidad del recurso a los sectores más vulnerables dentro de la región [48]. Si se toma como supuesto que el gasto regional se comporta de manera lineal a la cantidad de personas que viven en sectores rurales, se puede estimar que a grandes rasgos para la región del Maule sería necesario destinar \$7502 millones de pesos para afrontar una situación similar ya que en la región de Coquimbo la población rural es de 132.288 personas, mientras que en la región del Maule es de 305.077 personas [49] [50].

Otro gasto importante no considerado, sería el de una detención no programada de las operaciones de la Planta de Celulosa, si se llegase al escenario de no disponer del caudal suficiente del río Maule para operar la planta significaría pérdidas diarias de \$415.380 dólares. Esta estimación considera la producción diaria de 903 toneladas de celulosa y el precio de la tonelada de celulosa registrado en febrero de 2020 de \$460 dólares/ton [51].

5.2.3 Características del Agua Identificada

Actualmente el total de esta agua tiene un grado de utilización dentro del proceso de producción, no obstante, debido a que no se cuenta con los procesos adecuados para reprocesar o reutilizar directamente, se envía a la planta de tratamiento de efluentes. Por medio de los análisis de calidad de estas aguas se identificó que un 68% corresponde a agua de calidad industrial, mientras que el 32% restante es agua que se aleja del parámetro industrial, principalmente debido a mediciones de turbidez superiores a 2,5 NTU, por lo que requiere retratamiento. Del total de agua identificada solo un 28% tiene un riesgo de contaminación con licor, en su mayoría agua de sello de las bombas de impulsión.

La no reutilización del agua con calidad industrial significa una pérdida de \$11.926.080 al mes; este monto considera la inversión en reactivos químicos utilizados para el tratamiento del agua cruda y la energía eléctrica utilizada en la impulsión del flujo.

En cuanto al flujo de agua que no está dentro del parámetro industrial, su impulsión hacia la planta de celulosa significa una pérdida de \$1.606.298

al mes. Solo se considera la electricidad en este caso, ya que para esta agua es necesario invertir en reactivos químicos, a fin de llevarla a calidad industrial.

Finalmente, el no reincorporar el volumen total de agua al circuito de la planta significa para Arauco una pérdida mensual de \$13.352.379, lo cual en términos de precio de venta de celulosa de la empresa Arauco, es equivalente a 21 toneladas de pulpa de celulosa. Lo anterior permite entender mejor por qué no se le ha dado urgencia a la reducción del uso de agua en el pasado y también permite reafirmar que el concepto de reducir el consumo de agua nace de la toma de conciencia del impacto y de la importancia del cuidado del medioambiente, más que una medida para reducir los costos de producción de pasta de celulosa.

En la figura 5.21 se puede visualizar la distribución de los flujos de agua por Superintendencias, destacándose que el área con mayor deficiencia en la gestión de aguas es la Superintendencia de Licor, la cual abarca las áreas de Desmineralizado, Calderas y Evaporadores. Esto se debe principalmente a la gran cantidad de operaciones unitarias involucradas en el proceso de esta superintendencia y la escala de producción en comparación con las otras áreas.

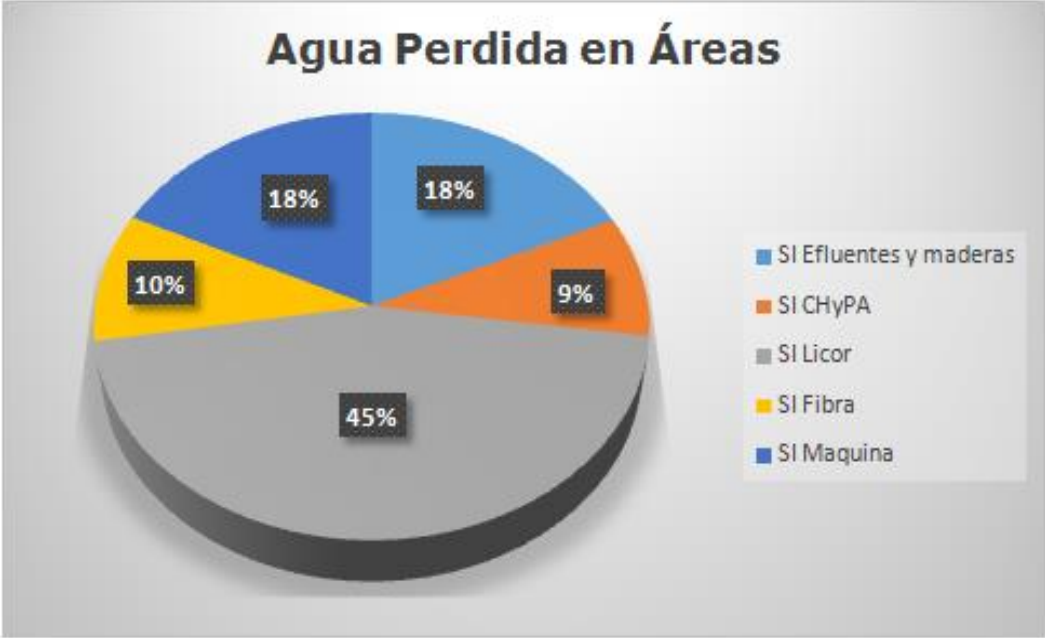


Figura 5.21: Distribución de las pérdidas de agua según áreas de producción

5.3 Propuestas de Mejora

Acorde a la metodología, en esta sección se presenta las distintas propuestas orientadas a la reducción del uso de agua en la Planta de Celulosa. En varias de las medidas expuestas en este capítulo se agrupa más de una fuente de agua a reutilizar; este enfoque tiene como objetivo el poder reincorporar localmente una mayor cantidad de agua, aprovechando los recursos operacionales.

El dimensionamiento de bombas de impulsión y de líneas de tuberías se realizó acorde al anexo F y medidas de estanques se hizo en base a proveedor [52].

5.3.1 Área Planta de Agua

Posee un flujo a recuperar de 5,04 m³/h, correspondiente a los muestreadores de los distintos equipos, que permiten tratar el agua captada del río Maule. Esto representa un gasto innecesario ya que, si bien se requiere de un flujo continuo para estar controlando constantemente los parámetros del agua, ésta finalmente llega a una cuba y es derivada a la planta de tratamiento de efluentes, pese a no tener fuentes de contaminación con licores.

En una primera etapa se propone reducir el porcentaje de abertura de válvula de los puntos de muestreo de la cámara de llegada, de los decantadores y del agua ya tratada. El que se mantenga estas válvulas a un 100% de abertura no se justifica ya que, para efectos de toma de muestras, solo es necesario tener un flujo continuo. En base a las mediciones realizadas, se estima que si se redujese en un 25% la abertura de las válvulas se podría disminuir el consumo de agua de estos puntos de muestreo en 90 m³ al día.

Una vez implementada la medida de mitigación, se propone cerrar el paso del agua hacia lo que es la línea de efluentes y, por medio de la instalación de una línea y una bomba de impulsión, retornarla hacia la cámara de llegada 82-A-50 o hacia la entrada de uno de los decantadores. Esto, con el fin de reaprovechar este flujo de agua que está en la misma área de tratamiento de agua.

Se propone implementar una línea de 0,5 pulgada a la cuba de descarga, con una bomba que opere con un flujo de 5 m³/h y una altura dinámica de 26 metros, equivalente a la diferencia de altura con el decantador y las pérdidas por fricción de una tubería de acero de 60 metros de longitud como se muestra en la figura 5.21.

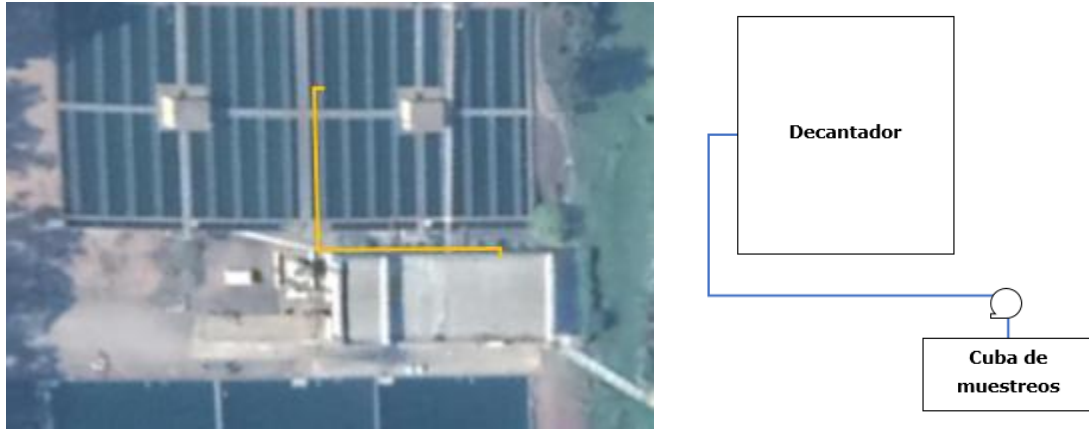


Figura 5.21: Esquema línea de retorno

5.3.2 Área Tratamiento de Agua para Calderas

5.3.2.1 Rechazo de Osmosis

Una de las mayores oportunidades de reducción de consumo de agua asociado a la planta de celulosa es el reaprovechamiento de los rechazos de los trenes de Osmosis Reversa.

Esto, debido a que constantemente se envía hacia la planta de tratamiento de efluente un flujo que llega a superar los 25 m³/h.

Debido a la alta conductividad obtenida en las mediciones, no es viable su utilización como agua industrial, sin embargo, resulta atractivo utilizarla para aseo de las áreas y/o limpieza de equipos, dada la baja turbidez que alcanza en comparación con el agua industrial y, con ello, reemplazar el uso de agua industrial de algunas áreas.

Se proponen las siguientes medidas:

Pozo de Recuperación

Consiste en construir un pozo individual para recuperar esta agua en el área de desmineralizado y que, por medio de una bomba de impulsión, se alimente a estanques de agua para las áreas que trabajan directamente con licores.

Esto permitiría tener una fuente de agua no industrial, que puede ser utilizada ya sea para aseo de las áreas expuestas al derrame de licores, o inyección de agua para equipos que requieran de limpieza periódicamente.

El pozo de recuperación estaría ubicado junto a la cámara de neutralización, tendría una capacidad de 10 m³ y una desviación por rebalse

hacia efluentes. La bomba de impulsión operaría con un flujo de 30 m³/h y enviaría el flujo de agua hacia los estanques de almacén de las siguientes áreas: Evaporadores, Digestores y Caustificación. Cada uno tendría una capacidad máxima de 10 m³, una línea de entrada de 3 pulgadas y una de salida de 1 pulgada. Por medio de una bomba de menor flujo se impulsaría el agua hacia las tres áreas mencionadas, se plantea que el flujo no supere los 10 m³/h ya que ese es el flujo máximo con el que opera una manguera de alta presión, utilizada en labores de aseo en Planta Constitución.

El sistema de control automático de nivel operaría como se muestra en la figura 5.22: cada estanque contaría con un medidor de nivel, el cual controlaría una válvula de descarga, para vaciar el estanque, y una de entrada para llenarlo. Cada medidor de nivel además se comunicaría con una bomba de impulsión que operaría proporcionalmente al requerimiento de aumentar el nivel de uno o más estanques, la configuración de las válvulas también tiene el objetivo de poder decidir si se quiere llenar un estanque específico y no otro. Finalmente, cada estanque tendría su bomba asociada para controlar el flujo de descarga.

En la siguiente figura se detalla el sistema de recuperación de aguas de rechazo de osmosis:

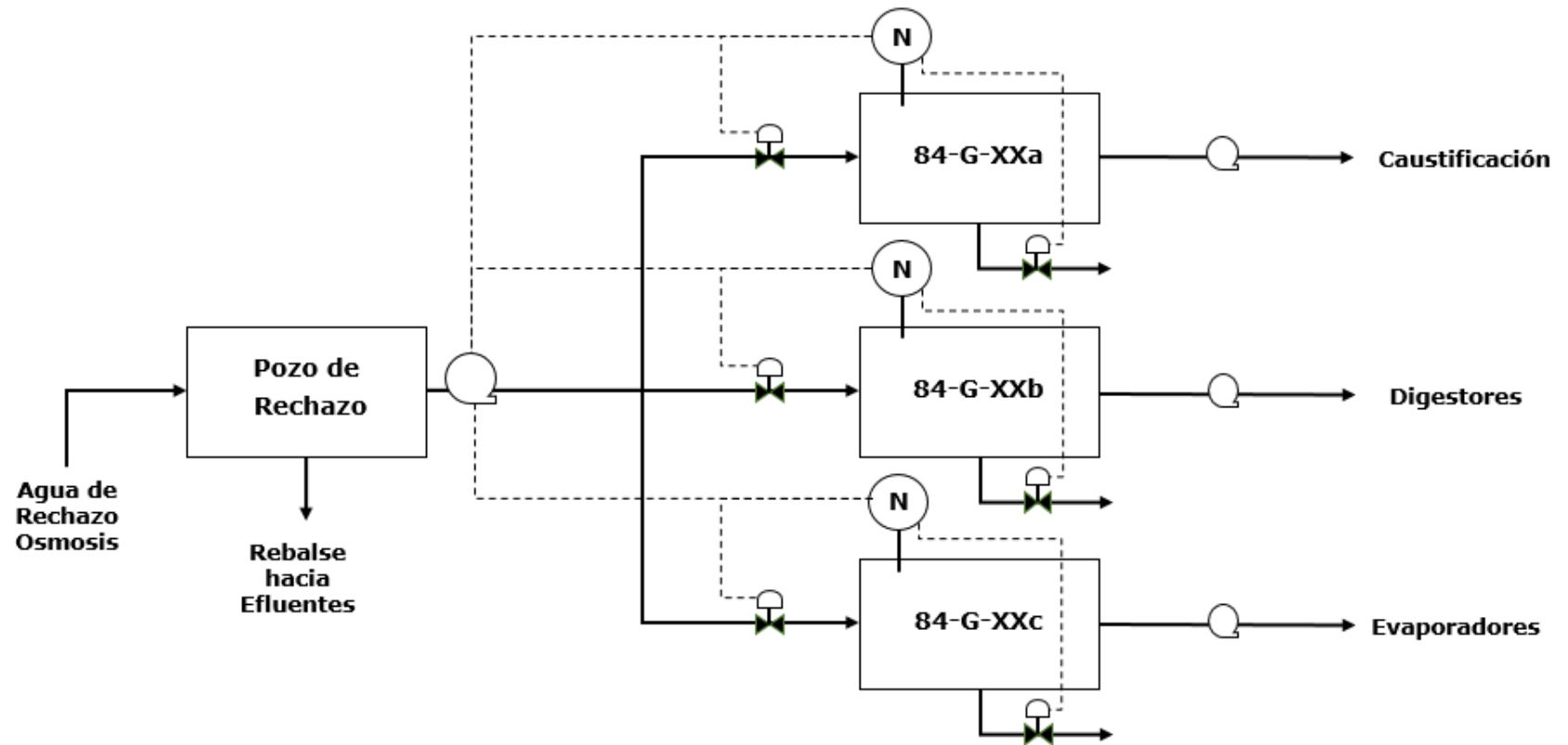


Figura 5.22: Esquema de recuperación de agua de rechazo de osmosis

Preparación Maderas

Consiste en canalizar estas líneas de rechazo y enviarlas hacia el área de preparación maderas, con el fin de utilizarla en el lavado de troncos y de esta forma independizar el área del uso de agua industrial.

Esta es una opción factible dado que hace 10 años atrás, se hacía esta labor con condensados sucios del área de evaporadores (debido a el malestar del personal del área por el olor de los vahos fue necesario dejar de ocupar esta agua).

El reemplazar este flujo de agua por rechazos de osmosis significaría un ahorro de agua industrial que no comprometería el bienestar de los trabajadores, ya que los rechazos no tienen contacto con licores.

Se plantea la construcción de un pozo de rechazos de osmosis junto a la cámara de neutralización con una capacidad de 10 m³ que, por medio de una bomba con un flujo de 30 m³/h y una altura dinámica estimada en 10,7 m, impulse el flujo hacia el área de preparación maderas. La línea tendría un diámetro de 3 pulgadas y una longitud mínima de 250 m para llegar a destino.

Esta medida permitiría reducir en más de un 70% el consumo de agua asociado al área de preparación maderas.

Es importante señalar que antes de ser implementada esta mejora, se debe verificar cual es la máxima concentración de sílice que se puede permitir en las astillas y cuanto es el sílice que estas adsorben cuando provienen del lavado de un tronco con agua de rechazo de osmosis, ya que en un caso desfavorable podría no ser viable el solo lavar con agua de rechazo y sea necesario utilizar una proporción de agua industrial determinada para mantener la concentración de sílice dentro de un parámetro específico en las astillas. Por ello se propone hacer la siguiente prueba: lavar un rollizo de madera con agua de rechazo de osmosis, astillarlo y posteriormente medir la sílice de las astillas formadas, comparándolo con una muestra que solo fue lavada con agua industrial. Así se podría verificar, en una primera etapa, si la calidad de las astillas se ve afectada por la sílice presente en el agua de rechazo de osmosis, cuando esta es utilizada para lavar un tronco.

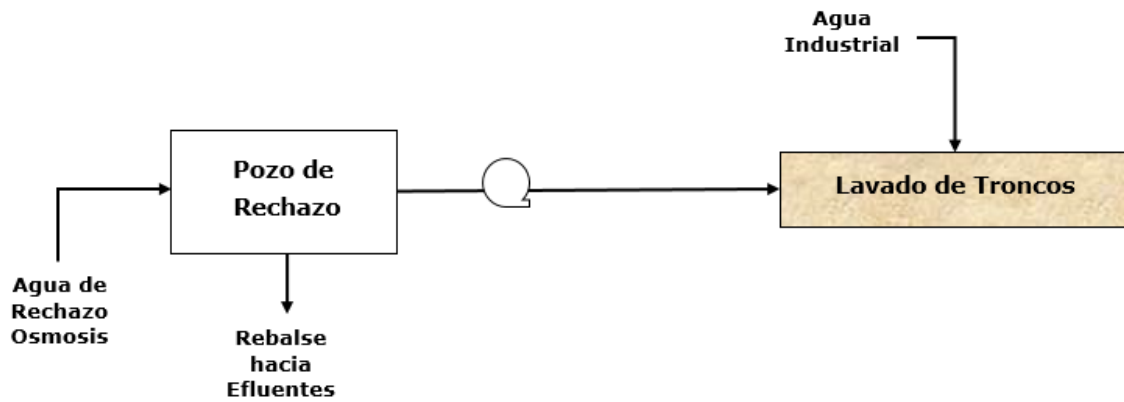


Figura 5.23: Esquema de recuperación de rechazo de osmosis

En la siguiente figura se muestra el trazado de la línea de agua de rechazo de osmosis, donde 1 es el pozo ubicado al lado de la cámara de neutralización y 2 es el área de preparación maderas:



Figura 5.24: Ubicación de línea de recuperación

Lavado de filtros de arena

Consiste en recuperar el agua del rechazo hacia un estanque de almacén con capacidad de 100 m³ y que, por medio de un sensor de nivel, se mantenga el porcentaje de almacén, con el fin de destinarlo para el lavado de los filtros de arena.

Una vez que alcance su capacidad, el flujo restante podrá ser derivado a otra área, como efluentes u otra operación que pudiese aprovechar este flujo de agua mientras no se haga lavado de los filtros.

El sistema funcionaría por medio del sensor de nivel: al momento de registrarse bajo almacén de agua para lavado se activa la primera válvula y la bomba de impulsión, la que trabajaría con un flujo de 30 m³/h. Una vez alcanzado el nivel deseado, se cierra la válvula para mantener la columna de agua en la línea y la bomba queda fuera de servicio.

Para la operación de lavado se activaría la válvula de descarga y la bomba de alta presión, la cual operaría con un flujo igual al actual que se hace con agua industrial (200 m³/h). Simultáneamente, se activaría la primera bomba para recuperar el almacén deseado del estanque.

Es importante que previo al montaje se realice una prueba piloto, con el fin de verificar si durante el lavado parte de la sílice queda impregnada en el lecho filtrante. Esto se puede verificar observando si después del lavado existe un aumento en la conductividad de salida del filtro una vez que se ponga en servicio con agua industrial. De ser así, es posible realizar una rutina de lavado con parte de agua de rechazo de osmosis y otra parte con agua industrial. En la siguiente figura se detalla la propuesta:

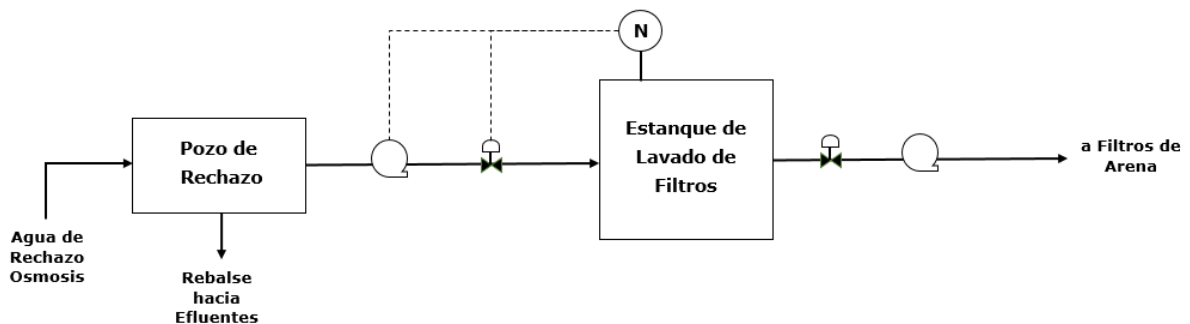


Figura 5.25: Esquema de recuperación de rechazo de osmosis

Inyección a 63-C-21

Debido a que este rechazo no tiene contacto con fuentes de calor, el inyectarlo hacia este estanque permitiría controlar la temperatura de los condensados sucios y aliviaría la operación que tienen actualmente los intercambiadores de placa en planta de agua.

En promedio, el flujo de los condensados alcanza 210 m³/h y una temperatura de 75 °C, mientras que el rechazo de osmosis alcanza una temperatura menor a 20 °C y un flujo superior a 30 m³/h.

Al realizar un balance de energía de estos flujos y considerando un poder calorífico similar, se llega a que el incorporar los rechazos de osmosis a el estanque 63-C-21 significaría una disminución de 10 °C de los condensados sucios que van hacia los intercambiadores de placa de planta de agua (como se muestra en el anexo G).

Si bien esta propuesta no contribuye a la disminución directa del consumo de agua, si significaría en el estado actual de la planta un menor consumo de agua industrial de la válvula asociada al condensador de mezcla 74-E-50, la que actualmente es la única medida paliativa para controlar la temperatura de efluentes en la planta de celulosa.

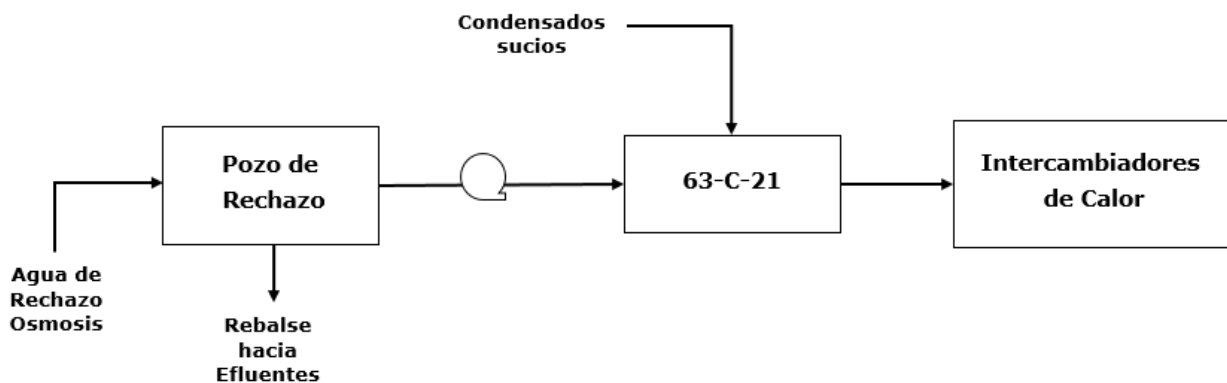


Figura 5.26: Esquema de recuperación de rechazo de osmosis

Análisis de opciones

Dentro de las opciones de mejoras presentadas anteriormente, el pozo de recuperación es una de las que menos inconvenientes podría generar y con menor impacto en el uso de agua, ya que las labores de aseo no demandan un flujo de agua tan grande, por lo que gran parte del rebalse de esta agua iría a desagüe.

Preparación maderas, por otro lado, es una buena opción para lavado de troncos; solo sería necesario realizar la prueba piloto para verificar que no se vea afectada la calidad de la celulosa. Hay que considerar el efecto que tendría en el clarificador primario si se siguiera tratando el agua en este equipo, por lo que habría que incluir una prueba de escala piloto para

verificar como cambiaría la medición de conductividad del agua tratada del clarificador primario si se utilizase agua de rechazo de osmosis en la operación de Preparación Maderas.

Lavado de filtros está sujeto a una prueba piloto, sin embargo, con esta medida no se podría asegurar la recuperación total, por lo que realizar esta propuesta en conjunto con la del pozo de recuperación para el aseo de las áreas podría significar el reducir el consumo de manera óptima.

Por último, llevar esta agua al estanque de condensados sucios, como se discutió anteriormente, no es una medida real de reducción del consumo de agua, pero con el estado actual del proceso en donde se enfría riles con agua limpia sería preferible usar este flujo en primera instancia para control de temperatura, previo al tratamiento de la Planta de Efluentes.

5.3.2.2 El lavado de los filtros arena

Esta es una operación que frecuentemente se debe realizar en el área por medio de la inyección de agua industrial desde la misma línea de alimentación, la cual sale por una válvula de purga hacia desagüe. Dado que diariamente se consume un volumen de 400 m³ en esta operación y que presenta un bajo nivel de contaminación, se propone las siguientes medidas:

Filtro de malla auto limpiante

Consiste en incorporar un filtro horizontal de malla de la empresa STF, modelo FMA 2000. Este opera con un grado de filtración de 10-1000 µm, que recibe el agua en una cámara de filtrado, atravesando una malla desde adentro hacia afuera, quedando las partículas retenidas en la parte interior que forman una torta de filtración. La acumulación de partículas genera un diferencial de presión entre ambos lados de la malla y, una vez que alcanza un valor preestablecido, desencadena el proceso de auto limpieza activándose una válvula de apertura de drenaje, en la que, por medio de boquillas de succión con cerdas de nylon, se limpia la malla filtrante. Al abrirse la válvula de drenaje, se pone a la boquilla de limpieza a presión atmosférica, generándose una fuerza de aspiración en sentido inverso a la del agua de filtración, arrastrando así la suciedad acumulada, como se muestra en la figura 5.27. Este tipo de filtros tienen tiempos de limpieza cercanos a 25 segundos y un consumo de agua por lavado de 100 litros [53].

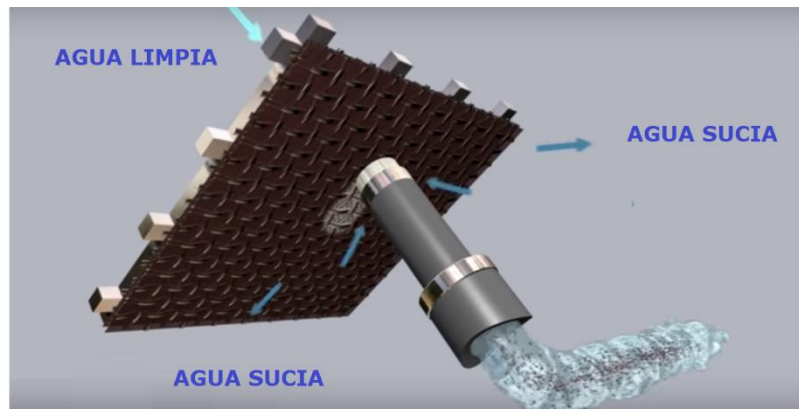


Figura 5.27: Esquema de funcionamiento de mallas limpiantes [53]

El incorporar este tipo de filtro permitiría disminuir la frecuencia de los lavados de los filtros de arena y con ello, el consumo de agua industrial asociada a los lavados.

Se propone ubicar este filtro en la línea de entrada de agua industrial del área desmineralizado; esta ubicación tiene la ventaja de estar junto a una canaleta de desagüe, lo cual facilitaría las operaciones de lavado del filtro automático. En la figura 5.28 se muestra la ubicación propuesta del filtro.



Figura 5.28: Ubicación línea de entrada de agua

Cerrar el circuito de agua

Consiste en implementar un sistema de recuperación de agua, como se muestra en la figura 5.29, con el fin de llevarla a un estanque de almacén y que, por medio de un filtro a la entrada, se recircule el agua hasta alcanzar el grado de limpieza necesario para volver a ser utilizada en el lavado de los filtros de arena. Esto tiene el objetivo de reducir el consumo, al reutilizar y retratar el agua sin la necesidad de utilizar químicos.

La propuesta implica hacer un bypass a la línea de agua de alimentación, como también conectar cada salida de agua de limpieza hacia la línea de recuperación.

El sistema propuesto en la siguiente figura consiste en que, durante la operación normal del filtro de arena, las válvulas 1 y 3 se mantendrían abiertas, mientras las válvulas 2, 4 y 5 permanecerían cerradas. La válvula 9 solo se abriría en caso de ser necesario para recuperar nivel en el estanque de almacén de agua de lavado, el cual tendría una capacidad de 200 m³.

Cuando el medidor de presión del filtro de arena indique que es necesario realizar un lavado, las válvulas 1 y 3 se cerrarían, mientras las válvulas 2, 4 y 5 se abrirían para dar paso al funcionamiento de la bomba de impulsión A, la cual trabajaría con el mismo flujo de limpieza actual que es de 200 m³/h. El agua pasaría a un filtro auto limpiante y llegaría nuevamente al estanque de almacén para continuar con la operación de lavado; las válvulas 7 y 8 permanecerían cerradas en esta operación y la válvula 6 solo dependería de la presión de operación del filtro auto limpiante. Se propone el mismo modelo de filtro auto limpiante de la propuesta anterior para este montaje.

Una vez terminada la operación de lavado del filtro de arena dejaría de funcionar la bomba A, se cerrarían las válvulas 2, 4 y 5 y se abrirían las válvulas 1 y 3.

Cuando no esté en funcionamiento el sistema de limpieza del filtro de arena se podrá poner en funcionamiento el sistema de limpieza del agua de almacén la cual, por medio de un sensor de turbidez, permitiría la abertura de la válvula 7 y pondría en funcionamiento la bomba B de recirculación hacia el filtro auto limpiante. La recirculación de agua se efectuaría hasta que se alcanzara la calidad de agua necesaria, la válvula 8 solo se abriría cuando se requiera vaciar el estanque.

De esta manera, se aprovecharía mejor el recurso hídrico al modificar la rutina de lavado de los filtros de arena.

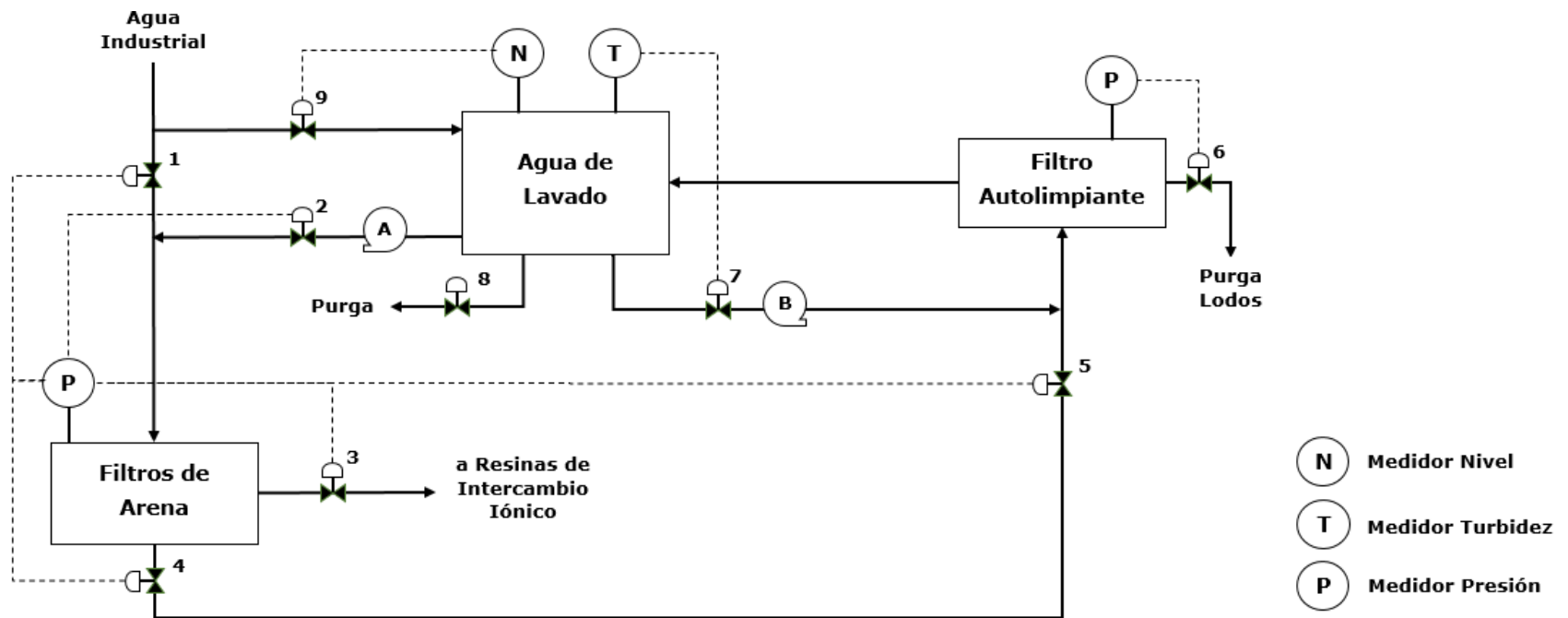


Figura 5.29: Esquema de recuperación de agua de lavado

Tratamiento en Clarificador 1º

Esta opción consiste segregar el agua de lavado y en vez de llevarla hacia la cámara general de neutralización de riles de la planta, sea enviada hacia un punto de retratamiento donde se traten aguas que no estén expuestas a contaminación con licores.

Se propone que la recuperación de esta agua sea por medio de una línea conectada a la salida del lavado de los filtros de arena y que, con una bomba de impulsión, se lleve el flujo hasta el pozo de lodos ubicado al lado de las torres de enfriamiento de planta de agua. Esta línea de recuperación tendría una longitud de 170 m para llegar al pozo de lodos de planta de agua. En la siguiente figura se puede ver el recorrido de la tubería, donde 1 es la ubicación de los filtros de arena y 2 el pozo de lodos, como se señala en la figura 5.30.



Figura 5.30: Ubicación de línea de recuperación

Esta idea tiene la desventaja de que para que se haga efectiva la recuperación de agua, es necesaria la realización de otra propuesta que se planteará más adelante, que es la implementación de una línea de retorno desde el área de efluentes hacia la cámara de llegada de planta de agua.

Análisis de opciones

Cerrar el circuito de agua sería una de las opciones con mayor impacto, ya que permitiría eliminar una menor cantidad de agua destinada a limpieza, sin embargo, es una de las opciones que requeriría mayor instrumentación.

Por otro lado, la instalación de un filtro a la entrada de agua del área permitiría reducir los lavados de los filtros de arena y mejorar la operación de los trenes de osmosis, no obstante, igual se estaría perdiendo agua para el lavado de los filtros, aunque con menor frecuencia.

El incorporar una línea recuperación solucionaría el problema de recuperación de agua, pero significaría una mayor inversión y dependencia de la implementación de otra propuesta como se mencionó anteriormente. De las propuestas anteriores se puede ver una relación entre reducción del uso de agua efectiva y la complejidad de las propuestas, por lo que la decisión de una iniciativa para esta área tendrá una relación directa con la inversión dispuesta a realizar.

5.3.2.3 Rechazos de retornos de condensados

Debido al gran uso que se le da al vapor de media y baja presión es que se tiene la posibilidad de recuperar condensados de las áreas de evaporadores, secado y digestores en el estanque 84-G-30 del área de desmineralizado. Cuando estos condensados alcanzan una conductividad superior a 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ son enviados a desagüe como medida de control, ya que superado este valor se considera como agua no desmineralizada, estando sin embargo en el rango de calidad industrial y es por esto que se propone hacer una segunda línea de recuperación.

Se propone la siguiente derivación para el flujo de rechazo de condensado, estimado en un mínimo de 4 m^3/h :

- Conductividad mayor a 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se envía a efluentes.
- Conductividad entre 10 y 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se envía a estanque de recuperación.
- Conductividad menor a 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se recupera como condensado de retorno.

Actualmente las líneas de recuperación de condensado están individualizadas por área, contando cada una de ellas con un medidor de conductividad y una válvula de purga de tres vías como se presenta en el próximo diagrama (válvulas 1a, 1b y 1c).

La propuesta consiste en que las tres líneas de desviación a efluentes se conecten a una misma línea que dirija el flujo hacia un estanque de recuperación, el cual tendría una capacidad de 50 m³ (3,7 m de diámetro y 5,16 m de altura) y se ubicaría al lado de la cámara donde se va a desagüe, mostrado en la siguiente figura:



Figura 5.31: Ubicación de estanque propuesto y línea de desagüe

El circuito que se muestra en la figura 5.32 funcionaría de la siguiente manera: si el condensado de retorno de evaporadores tiene una conductividad menor a 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la válvula automática 1c permitiría el paso del agua hacia el estanque 84-G-30, de lo contrario se cerraría y pasaría a la línea de recuperación de agua industrial; el sensor de conductividad en esta tubería actuaría sobre la válvula 2, permitiendo el paso hacia el estanque de recuperación si la conductividad es menor a 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, de lo contrario iría hacia efluentes. Ya en el estanque, se tendría un medidor de nivel para controlar el almacén por medio de la válvula de purga 3, en tanto, el sensor de conductividad del estanque tendría acción en las válvulas 3 y 4 para derivar a efluentes o hacia destino. Esto, con el fin de controlar nuevamente que el agua del estanque no presente contaminación. Al mantenerse en el rango de calidad industrial, la válvula 4 se mantendría abierta y daría paso al funcionamiento de la bomba de impulsión, que llevaría el agua a destino.

La bomba de impulsión trabajaría en un rango de 10-20 m³/h, con el fin de que si el flujo de retorno de condensados llega a superar los 4 m³/h sea posible, con la capacidad del estanque, recuperar la totalidad de agua sin necesidad de purgar. La tubería que llevaría el agua a destino tendría un diámetro de 2 pulgadas, acorde al flujo con el que trabajaría la bomba.

Para el condensado con una conductividad entre 10 y 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ recuperado se propone las siguientes locaciones, desde la más cercana a la más lejana:

a) Inyección a estanque 63-G-19: se plantea llevar este flujo hacia este estanque como un aporte de agua caliente y con ello, disminuir la cantidad de vapor que se utiliza para calentar el agua de almacén. Esto permitiría a Caustificación tener a disposición un mayor flujo de agua caliente y con ello, depender en menor medida de la recuperación de agua caliente de la bomba de vacío 66-J-332.

b) Reincorporar al circuito de desmineralizado: por medio del mismo estanque de recuperación y una inyección de agua adicional para refrigerar el agua, se reincorporaría el flujo hacia la entrada de uno de los filtros de arena. Para ello sería necesario también un medidor de temperatura, con el fin regular la abertura de válvula de agua industrial.

c) Recuperación hacia la torre de enfriamiento Marley: consiste en llevar el flujo de agua caliente a la torre de enfriamiento, con el fin de disminuir su temperatura y recuperarlo hacia las piscinas de almacén de agua industrial de planta de agua.

Análisis de opciones

Dentro de los destinos posibles, el más viable para los propósitos del estudio realizado sería la torre de enfriamiento Marley, dado que esta fuente de agua está a mayor temperatura que el agua industrial, y el llevarla a este punto permitiría recuperar la totalidad hacia el almacén de agua sin necesidad de incluir otros equipos, a diferencia del área de desmineralizado, donde sería necesario incluir un equipo de refrigeración.

Con respecto a la opción de llevar el flujo al estanque de aguas calientes, se puede comentar que solo significaría disponer de una mayor cantidad de almacén y no apunta directamente a la reincorporación como agua industrial, sin embargo, la necesidad de llevar a cabo esta idea dependerá finalmente de qué propuestas sean implementadas a futuro.

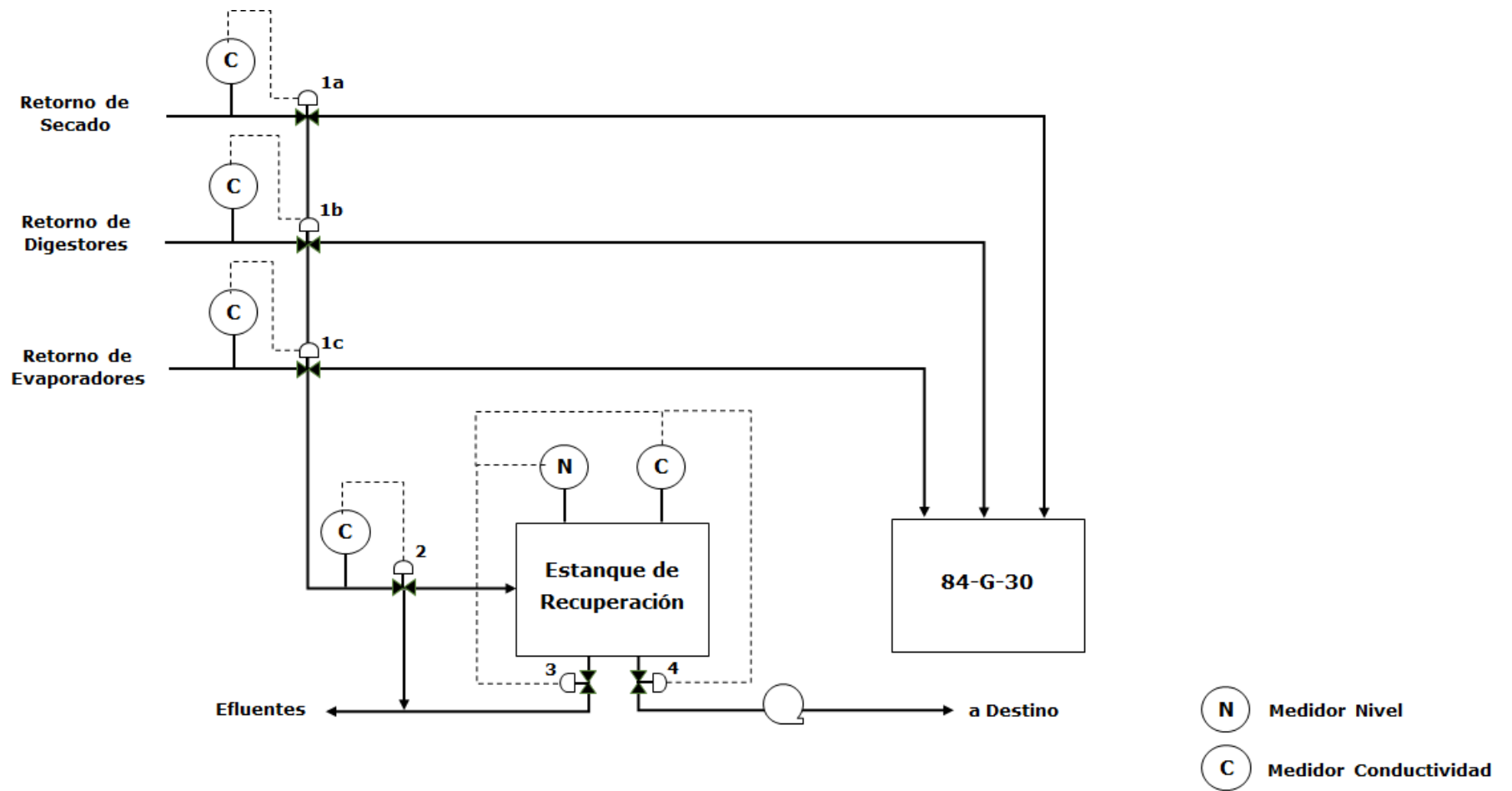


Figura 5.32: Esquema de recuperación de agua

5.3.3 Área Evaporadores

5.3.3.1 Aguas Sello

Actualmente las aguas sello del área de evaporadores llegan al pozo de recuperación 63-A-91, el cual cuenta con dos opciones de derivación: si tiene alta conductividad, debido a derrames de licor, se recupera hacia el estanque 72-G-10, en caso contrario se envía hacia efluentes. Lo que se propone es incorporar las aguas sello de las bombas asociadas a la Caldera recuperadora, con el fin de establecer una tercera línea de destino del agua de este pozo.

El sistema de recuperación consiste en que, una vez que el agua llega al pozo de recuperación, el medidor de conductividad permitirá ejercer la acción de apertura de válvula hacia los siguientes destinos, según el valor de conductividad:

- Conductividad $>700 \mu\text{S/cm}$ se envía flujo a 72-G-10.
- Conductividad entre 250 y $700 \mu\text{S/cm}$ se envía flujo a efluentes.
- Conductividad $<250 \mu\text{S/cm}$ se envía flujo a recuperación.

Una vez que el flujo es liberado hacia la línea de recuperación, pasará por un medidor de conductividad. Este tendrá la función de que, si hay contaminación presente en la línea, se abrirá la válvula automática hacia efluentes; de lo contrario permitirá el paso del agua hacia el estanque de recuperación 63-G-XX, el cual tendrá una capacidad de 100 m^3 y dispondrá de una bomba de succión que operará con un flujo de $30 \text{ m}^3/\text{h}$, que alimentaría el estanque de recuperación.

Una vez en el estanque 63-G-XX se dispondrá de tres sensores, uno de nivel para controlar el almacén en caso de superarse la capacidad y dos sensores para controlar la calidad industrial del agua de recuperación; estos sensores tendrán acción sobre las dos válvulas de flujo hacia efluentes y también sobre la válvula que permite el paso del agua a destino.

Los medidores de turbidez y conductividad permitirán el paso del agua hacia recuperación, siempre y cuando el flujo tenga una turbidez $< 2,5 \text{ NTU}$ y una conductividad $<250 \mu\text{S/cm}$.

La ventaja de este diseño de control, es que en operación continua existen tres instancias para detectar contaminación del agua y se contaría con un total de cuatro válvulas para enviar oportunamente el flujo de descarte hacia la planta de tratamiento cuando sea requerido. En caso de operación batch, el agua podrá acumularse en el estanque 63-G-XX y hacerse análisis en laboratorio si surgiera la necesidad.

En la figura 5.33 se muestra el sistema de control propuesto:

Origen	Caudal [m3/h]
Agua Sello Evaporadores	23,6
Agua Sello Caldera Recuperadora	8
Total	31,6

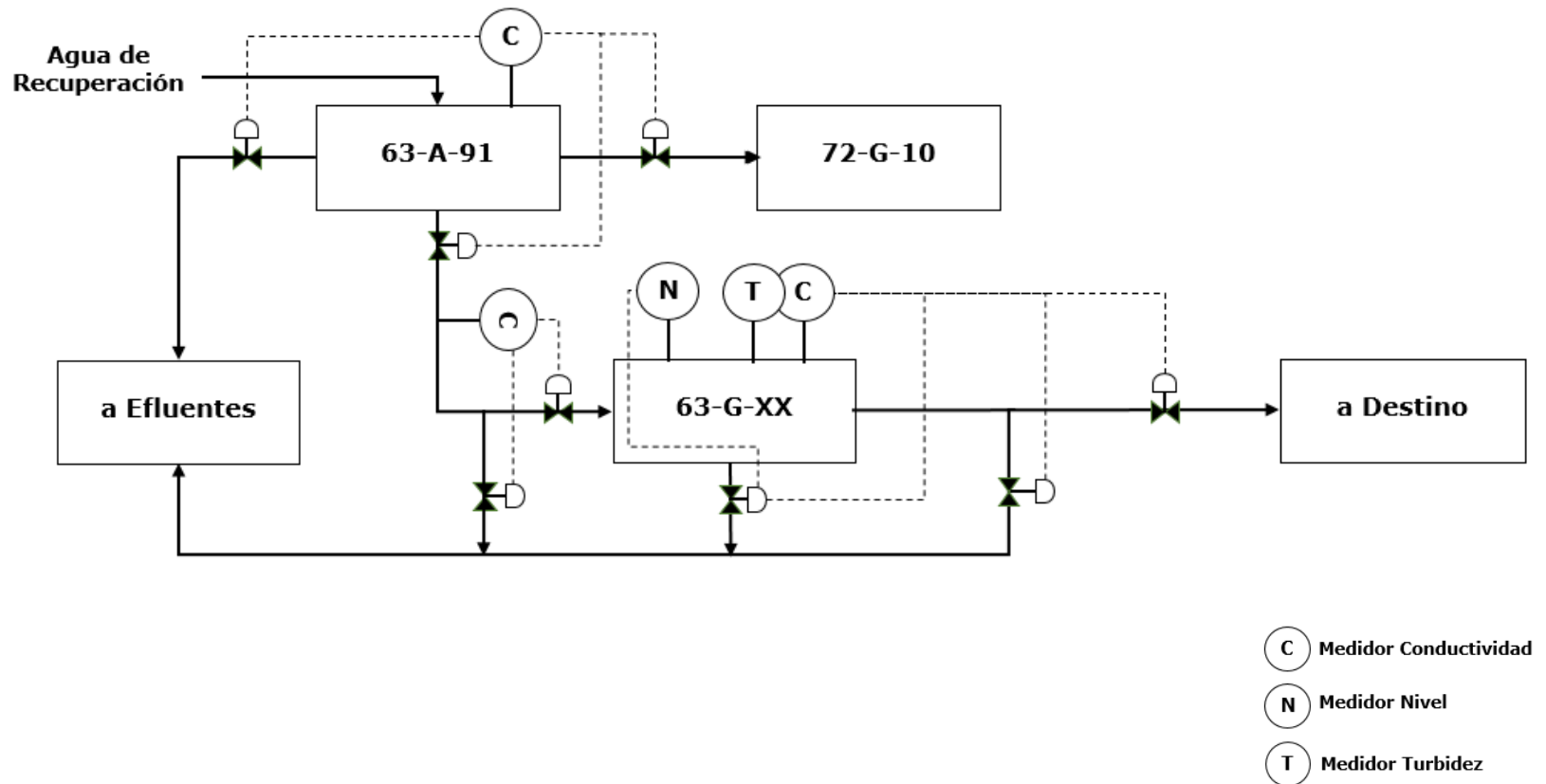


Figura 5.33: Esquema de recuperación de agua sello

Se plantea como fuentes de destino desde la más cercana a la más lejana:

a) Condensados de agua caliente del área de Evaporadores: consiste en llevar el flujo de recuperación hacia la línea de agua industrial que se utiliza en los condensadores 63-E-40A/41/74, los que actualmente utilizan un flujo de agua industrial cercano a 1000 m³/h. De esta manera, se reduciría el flujo de agua industrial y se abriría la posibilidad a futuro de incorporar otros flujos de recuperación de agua hacia el estanque 63-G-XX para disminuir el consumo de agua en el área de Evaporadores el cual, por los balances descritos anteriormente, representa al menos el 50% del uso total de agua industrial de la planta Constitución.

b) Inyección de agua a piscina de la torre Marley: esta sería ocupar una línea de retorno ya existente hacia planta de agua, debido a que el condensado de esta torre de enfriamiento se envía hacia las piscinas de almacenamiento. Esta opción es la más factible de implementar, ya que este equipo se encuentra en la misma área de operación.

c) Inyección de agua a estanque 33-G-16: esto permitiría aliviar la operación de las torres de enfriamiento de planta de agua y con ello, retornar el flujo estimado de 31,6 m³/h hacia las piscinas de almacenamiento de agua industrial.

Análisis de opciones

Tanto el llevar el flujo de agua a la torre de enfriamiento como al estanque 33-G-16 son igualmente viables, ya que finalmente llegan al mismo destino de almacén de agua, por lo que el decidir por una de las dos opciones dependerá de la disponibilidad de espacio para la instalación de las líneas de tubería. Con respecto a la opción de llevar el agua hacia los condensadores, esta tiene la ventaja de reemplazar parte de un uso de agua industrial que se genera en la misma área de la que proviene el agua sello. Las tres medidas tienen el mismo nivel de impacto y el decidir por una de ellas dependerá principalmente de los costos asociados.

5.3.4 Área Digestores, Lavado y Clasificación

5.3.4.1 Aguas Sello

Las aguas sello de las áreas de Digestores, Lavado y Clasificación representan un consumo de agua de 32,5 m³/h. Actualmente ambas áreas están expuestas a los derrames de licor, lo cual hace difícil recuperar el agua por medio de los desagües existentes. En el área se recupera el licor derramado junto al aporte de agua hacia un tanque spill 33-G-69.

Durante las paradas de planta, el derrame de licor es aún más recurrente y, debido al contacto con el agua de refrigeración de los sellos de las bombas que fluye por el desagüe, provoca que sea más difícil el recuperar el licor derramado, ya que este se ve diluido por el aporte de agua. Lo anterior significa lidiar con un mayor nivel de efluente, el cual llega a desbordarse de las canaletas de desagüe en algunas circunstancias.

Con el fin de reducir el aporte de agua a esta condición y recuperar el agua de sello, se propone la instalación de una canaleta auxiliar que vaya por encima de la línea de desagüe.

La canaleta auxiliar consta de soportes que permiten mantener el flujo de agua aislado del licor. Si ocurre un derrame en el piso este pasaría directamente al desagüe, en cambio, el agua de sello es llevada a desagüe por medio de mangueras que estarán descargando el flujo por arriba en la canaleta auxiliar.

Es importante comentar que esta solución surge a partir de una necesidad del personal del área, ya que una idea anteriormente implementada sin mayor éxito fue el incorporar una tubería en la línea de desagüe, con el objetivo de que cada manguera se conectara a esta línea, sin embargo, esto significaba un inconveniente para el personal, ya que cuando ocurre una rotura de la empaquetadura de una bomba de impulsión, el licor se filtra hacia la manguera de agua de refrigeración y, al estar la manguera dentro de una línea, no es posible identificar cuál bomba requiere de mantención.

La solución propuesta aborda la recuperación del agua de refrigeración, permitiendo la visualización de una eventual falla de bomba y que no se mezcle el agua con los derrames de licor.

El agua de recuperación, como muestra en la figura 5.34, pasa por arriba del pozo de recuperación y cae hacia un pozo aislado, donde se puede recuperar el agua limpia.

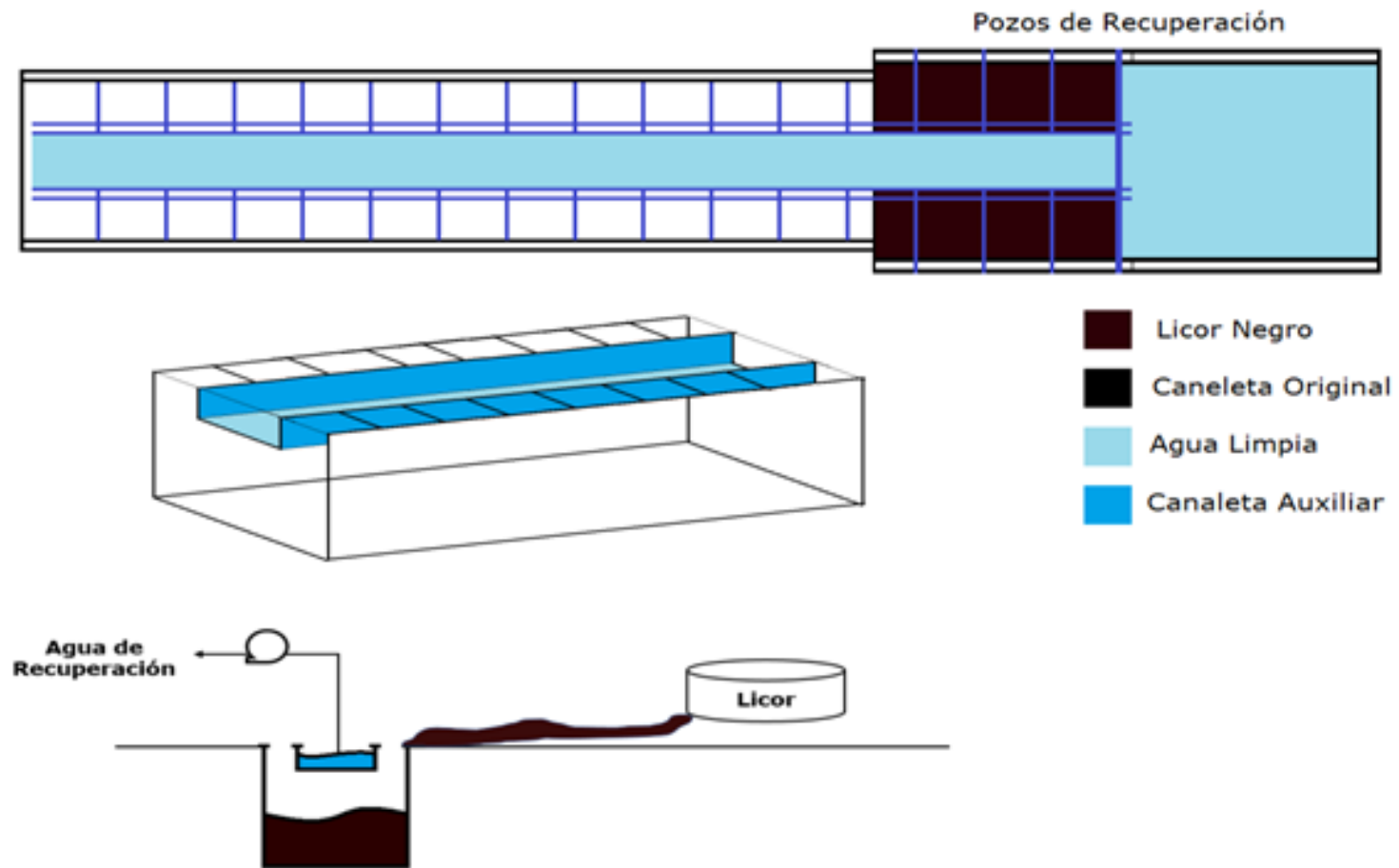


Figura 5.34: Esquema de recuperación de agua por canaletas auxiliares

Origen	Caudal [m3/h]
Agua Sello Digestores	23,3
Agua Sello Lavado y Clasificación	9,2
Total	32,5

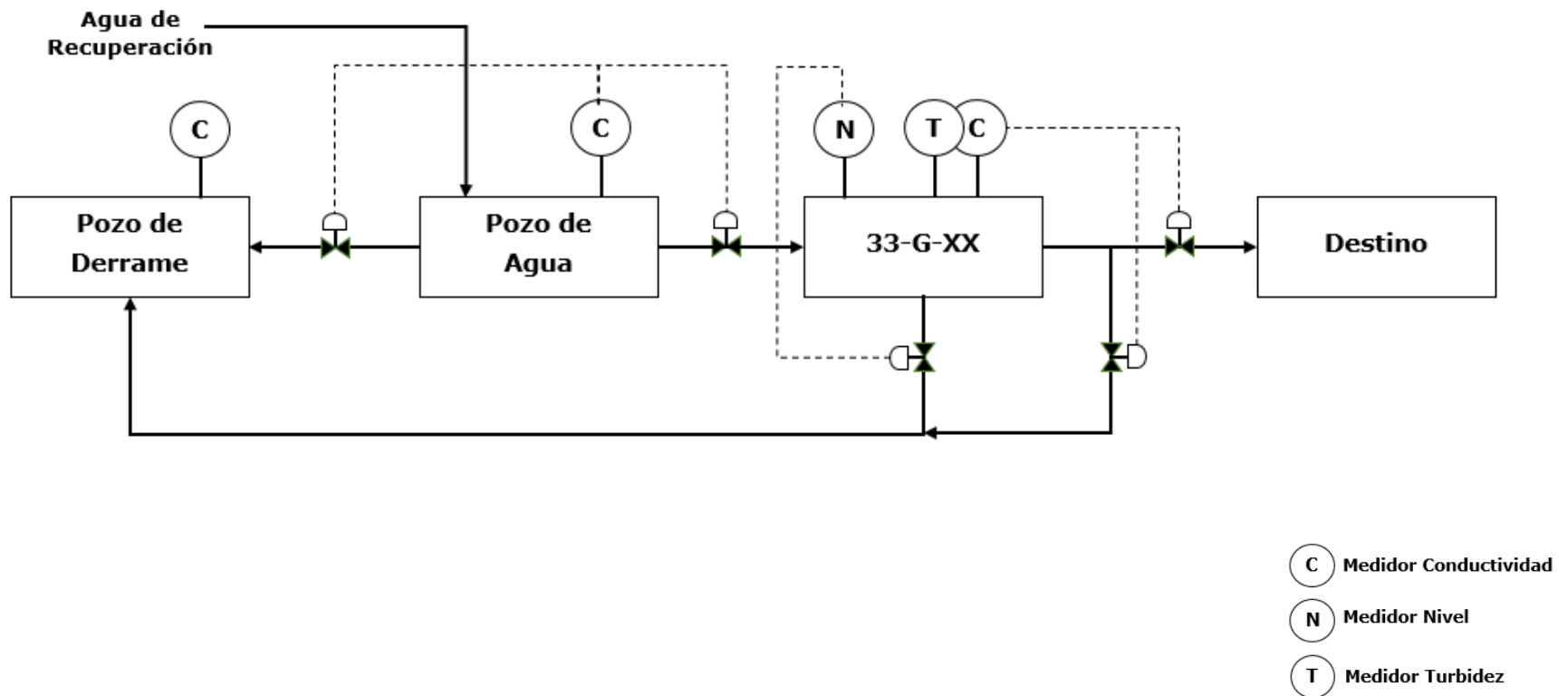


Figura 5.35: Esquema de recuperación de agua sello

Una vez que el agua de recuperación llega al pozo de agua, el medidor de conductividad controlará que el flujo recuperado tenga un valor menor a 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para pasar al estanque de almacén de recuperación 33-G-XX, de lo contrario se devolverá al pozo de derrames. Una vez en el estanque, el agua tendrá un sensor de nivel para controlar el nivel de almacén y dos medidores en el estanque determinarán si el recurso recuperado es de calidad industrial o no.

Se plantea como fuente de destino el estanque 33-G-16, lo que permitiría aliviar la operación de las torres de enfriamiento de planta de agua y con ello, retornar el flujo estimado de 32,5 m^3/h hacia las piscinas de almacenamiento de agua industrial. Esta medida se adecúa de buena manera a las necesidades del área, ya que este estanque de recuperación de agua se encuentra en la misma área ya analizada.

5.3.5 Área Caldera de Poder

5.3.5.1 Refrigeración ventilador 73-K-202

Este flujo es destinado hacia efluentes, pese a no contar con fuentes de contaminación y representa en gran medida el consumo de agua industrial. Por ello, se plantea canalizar este flujo en un colector y que, por medio de una línea de impulsión de 1,5 pulgadas con una bomba que opere con un flujo de 15 m³/h y altura dinámica de 31 m, se lleve a los siguientes destinos posibles:

a) Torre de enfriamiento Marley: esto permitiría aprovechar una línea de retorno ya existente hacia las piscinas de almacenamiento. Esta es una de las medidas más viables que implica retornar localmente el agua, ya que tanto el ventilador como la torre de enfriamiento se encuentran en la misma superintendencia.

b) Inyección estanque 63-G-19: esto permitiría aprovechar esta agua y reducir el agua industrial de reposición.

En la siguiente figura se muestra la ubicación de los destinos posibles: 1 corresponde al ventilador 73-K-202, 2 es la torre de enfriamiento y 3 es la ubicación del estanque 63-G-19. Ambas opciones de destino se encuentran a 90 metros aproximadamente de la fuente de agua de refrigeración.

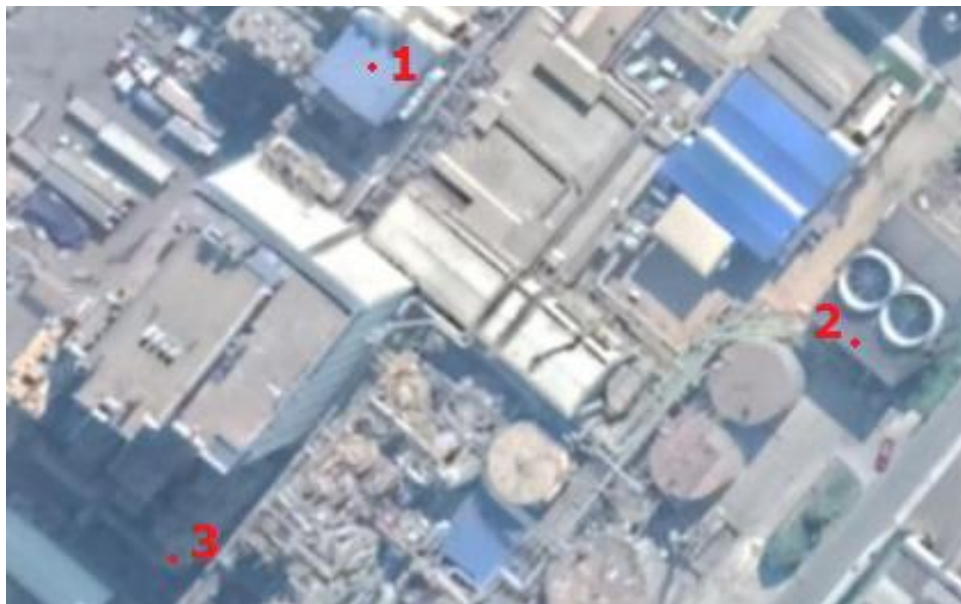


Figura 5.36: Ubicación de puntos de recuperación

Análisis de opciones

La opción más conveniente en este caso sería llevar el flujo de agua hacia las torres de enfriamiento. Si bien en la actualidad ambas opciones tendrían el mismo nivel de impacto, se esperaría a futuro el no depender de este estanque de aguas calientes y que, en su lugar, se aprovecharan otras fuentes donde se genere agua a mayor temperatura, como por ejemplo el agua de refrigeración de las bombas de vacío, por lo que el enviarla hacia la torre de refrigeración significaría asegurar una recuperación sostenida a futuro.

5.3.6 Área Caldera Recuperadora

5.3.6.1 Aguas de Canaletas de fundido y lavador de gases

Ambos flujos son descargados en el mismo desagüe del área de la caldera recuperadora y representan un flujo de 4,25 m³/h que llega a superar los 50° C.

Se propone conectar estos dos flujos a un colector y, por medio de una línea de 0,5 pulgada y una bomba de impulsión que trabaje con un flujo de 5 m³/h y una altura dinámica de 15 m, llevar el flujo a uno de los siguientes puntos de recuperación:

- a) Inyección de Agua a estanque 63-G-19:** un problema que suele tener este estanque es que regularmente requiere calentarse con vapor de baja presión. El incluir estos flujos ayudaría a recuperar esta agua, que está a mayor temperatura que el agua industrial, y adicionalmente permitiría reducir el flujo de reposición de agua industrial, que es necesario actualmente para recuperar nivel en el estanque cuando hay mayor demanda de agua caliente.

- b) Inyección de agua a torre Marley:** enfriar este flujo de agua y recuperarlo hacia el retorno de planta de agua.

En la figura 5.37 se puede visualizar en el punto 1 la ubicación del flujo descrito, el cual se encuentra a 60 metros del punto 2, que es el estanque 63-G-19. En 3 está ubicada la torre de enfriamiento Marley, ubicada a una distancia de 170 m.



Figura 5.37: Ubicación puntos de recuperación

En la figura 5.38 se puede ver la ubicación de los dos flujos considerados:

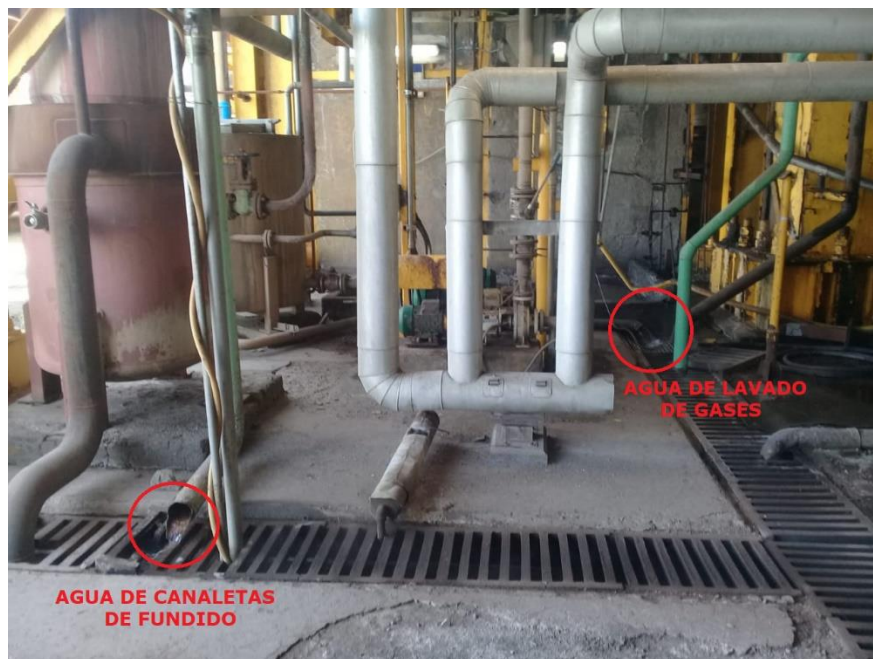


Figura 5.38: Ubicación fuentes de agua a recuperar

Análisis de opciones

Al igual que en la sección anterior, el recuperar el flujo de agua hacia la torre de refrigeración es asegurar una recuperación efectiva a largo plazo, sin embargo, se puede ver que las distancias juegan un rol importante, ya que el llevar este flujo hacia la torre de refrigeración aparentemente significaría una mayor inversión en una línea de tubería. Lo importante en este caso y en general con las demás propuestas, es que el objetivo es reducir el uso de agua; el tratar de optar por medidas más económicas es lo que llevó a tener, por ejemplo, un número considerable de bombas con empaquetadura y un alto consumo en agua de sello, por lo que es necesario tener una mirada a futuro de cómo pueden evolucionar los procesos de la planta.

5.3.7 Área Caustificación y Horno de Cal

5.3.7.1 Estanque de agua caliente

El área de Caustificación tiene un requerimiento de agua caliente del orden de 100 m³/h, superior a lo que es la demanda de agua fría, generando además flujos de agua caliente proveniente de las bombas de vacío. Actualmente solo se recupera parte del flujo proveniente de la bomba 66-J-332 en un pozo con una capacidad de 6 m³, donde por medio de una bomba sumergible se reutiliza este flujo, en cambio, el agua de la bomba 66-J-422 va a desagüe, por lo que como mínimo 15,9 m³/h de agua industrial caliente se pierde. Es por esto que se propone implementar el estanque 66-G-XX con una capacidad de 200 m³ (6,63 m diámetro y 5,96 m altura) para almacenar agua caliente y con esto, disminuir la demanda de agua caliente del estanque 63-G-19. Esto permitiría recuperar una mayor cantidad de agua caliente de los condensados del área de evaporadores y enviarlos hacia el 33-G-16 en vez del 63-G-19.

El horno de cal tiene ocho descansos, los cuales se agrupan en tres salidas a desagüe con la siguiente distribución:

- Desagüe 1: dos descansos de la estación 1.
- Desagüe 2: cuatro descansos de las estaciones 2 y 3.
- Desagüe 3: dos descansos de la estación 4.

Se plantea llevar el flujo de agua de refrigeración de la bomba J-422 al pozo de recuperación existente y, por medio de una bomba, impulsar el flujo

conjunto de las dos bombas al estanque de almacén 66-G-XX. En la siguiente figura se muestra la ubicación del pozo, en que existe espacio suficiente para instalar una bomba de impulsión, la que operaría con un flujo de 30 m³/h y una altura dinámica de 16,3 m. En cuanto a la línea que conectaría el pozo con estanque de aguas calientes, se estima que sería necesario al menos 100 m de tubería de acero de 3 pulgadas.

En cuanto a los descansos del horno de cal, se plantea implementar una línea que se comuniquen con estas salidas, pero que esté por lo menos a una altura de 6 m y que por gravedad, llegue hasta la entrada del estanque de almacén (de lo contrario se requerirá de otras dimensiones para el estanque de aguas calientes).

El estanque de almacén dispondría de dos medidores: uno de nivel para controlar el almacén y uno de temperatura que active una válvula de vapor de baja presión, con el fin de que, por medio de un serpentín, permita calentar el agua si es necesario. Finalmente, por medio de una bomba de impulsión, se podrá destinar a las áreas de Caustificación que requieren de agua caliente, principalmente los filtros 66-Q-33, 66-Q-42 y 66-Q-18.

Esta propuesta integrada permitiría a las bombas de vacío trabajar con flujos mayores ya que, por un lado, se estaría recuperando el flujo total de agua utilizado en la refrigeración y también, se tendría una menor dependencia del estanque 63-G-19-. De esta manera lo que se aspiraría a futuro es el generar la mayor cantidad de agua caliente en el área para igualar el consumo de agua caliente del estanque 63-G-19.

En la siguiente figura se muestra el detalle de la línea de recuperación propuesta:

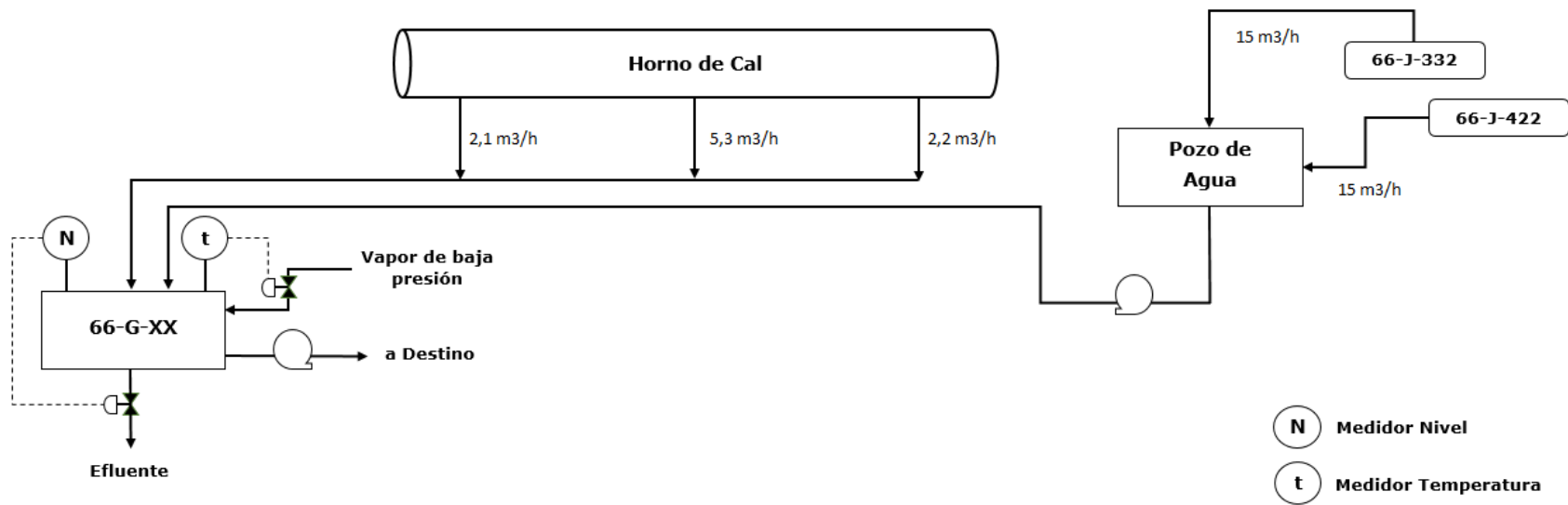


Figura 5.39: Esquema de recuperación de aguas para Caustificación

5.3.8 Área Tratamiento de Efluentes

5.3.8.1 Clarificador Primario

Como medida de recuperación del agua de este equipo se plantea el retornar este flujo hacia la cámara de llegada 82-A-50. Si bien esta es una tarea compleja de realizar, debido a las distancias entre ambas áreas y el terreno en altura, dentro de sus planes de mejora, Arauco tiene contemplado en el mediano plazo el planteamiento de un proyecto de reutilización de aguas del área de efluentes. Es por esto que, visualizando esta necesidad y dado el estudio realizado de reducción de consumo de agua, se propone en una primera etapa recuperar el agua del Clarificador primario hacia un punto de retratamiento que es Planta de Agua.

En la figura 5.40 se muestra la ruta propuesta de esta nueva línea de retorno:

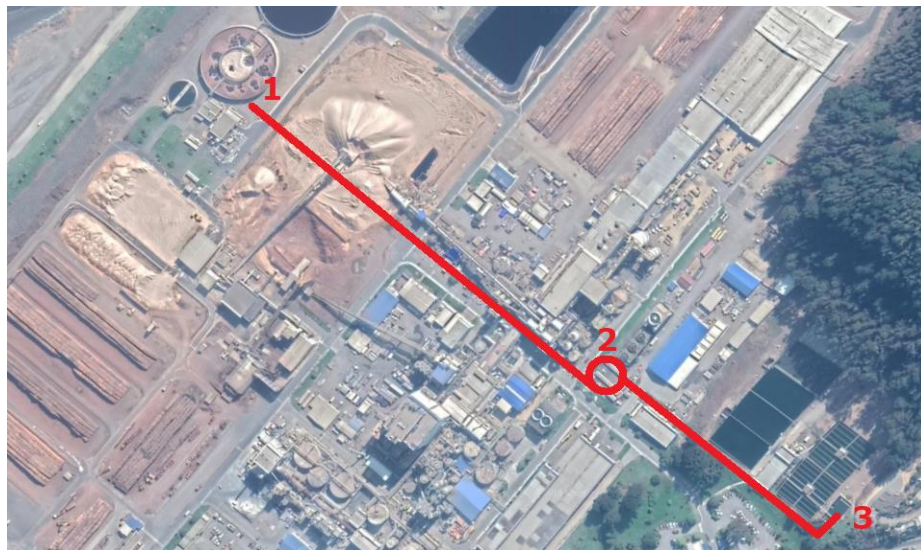


Figura 5.40: Línea propuesta de retorno

En la figura, el punto 1 corresponde al área de tratamiento de efluentes donde se ubica el clarificador primario; el punto 2 corresponde a la estación intermedia del estanque 82-G-XX, ubicada al lado de las torres de enfriamiento de planta de agua. El punto 3 corresponde a la cámara de llegada 82-A-50. El tramo 1-2 pasaría por el área de preparación maderas y seguiría por la calle principal que separa el área de fibra con el área de licor, en tanto, el tramo 2-3 estaría dentro de las dependencias de planta de agua.

La estación intermedia cumpliría con dos objetivos: ser un estanque de descanso para el flujo que se impulsa hacia la cámara de llegada y también, ser un punto común para que a futuro se incorporen otros flujos de recuperación de agua de las áreas cercanas a este estanque como es Lavado y Clasificación, Digestores, Desmineralizado y Calderas.

En cuanto a las distancias y alturas de cada estanque, estos se detallan en la figura 5.41, siendo medidas por imágenes satelitales.

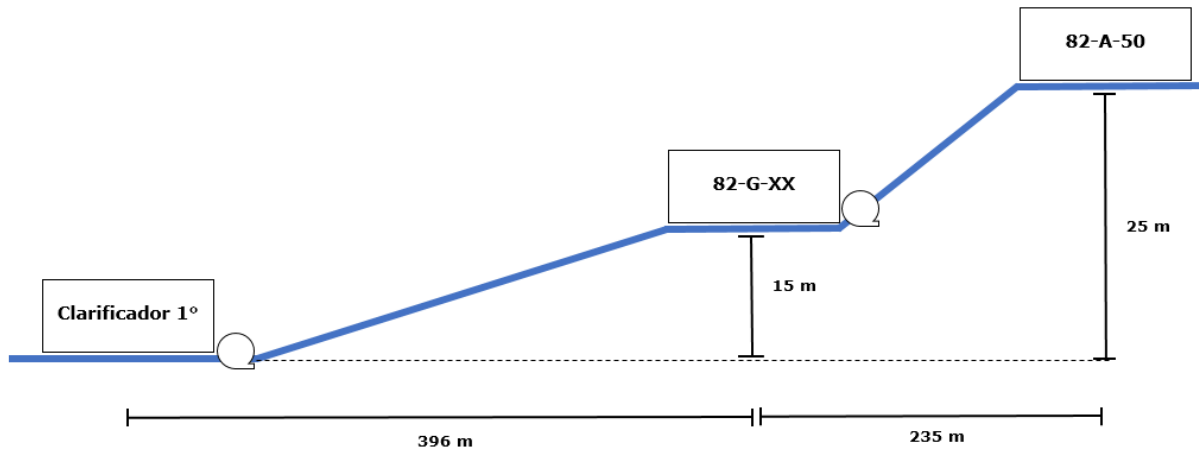


Figura 5.41: Dimensiones de sistema de recuperación de aguas

El estanque 82-G-XX tendría una capacidad 2000 m³, diámetro 15,18 m y altura 11,92 metros.

Tomando un flujo de diseño de 100 m³/h, un diámetro de tubería de 6 pulgadas y considerando la descarga hacia el estanque 82-G-XX por extremo superior, se calculó en base al anexo E la altura dinámica requerida por cada bomba de impulsión:

Trayecto	Altura dinámica de la bomba
Tramo 1-2	32,3 m
Tramo 2-3	13,2 m

Tabla 5.18: Dimensiones de bombas de impulsión requeridas

5.3.9 Área Turbogenerador

5.3.9.1 Válvula condensador de mezcla 74-E-50

Esta es una de las pérdidas más difíciles de mitigar, ya que el uso de la válvula depende principalmente de eventos de alzas de temperatura de los efluentes. Se ha identificado que las principales razones que dificultan el control de la temperatura son los condensados sucios del estanque 63-C-21.

El problema del control de temperatura de los riles empezó con la incorporación de estos condensados sucios al sistema de intercambiadores de calor de planta de agua, sin embargo, como los equipos no estaban a su máxima capacidad de placas se pensó, a pesar de las condiciones de diseño, que se podría seguir aumentando el área de intercambio para controlar la temperatura. Esta decisión se tomó en base a que las demás áreas seguirían operando bajo las mismas condiciones, sin embargo, en el caso del área de secado se ha visto un aumento del consumo de agua caliente en los últimos 10 años, lo cual ha significado un mayor volumen de riles con alta temperatura por parte de esta área.

Actualmente los intercambiadores de calor están a su máxima capacidad de placas, por lo que en temporadas de primavera-verano, la única forma de refrigerar el efluente es por medio de esta válvula de agua industrial.

Con el fin de evitar esta pérdida de agua, se visualizan dos opciones de proyectos a desarrollar:

- Aumentar la capacidad de refrigeración, incorporando un nuevo intercambiador de calor para el sistema de control de temperatura de riles.
- Disminuir el flujo de condensados sucios hacia el colector 63-C-21, reduciendo el flujo proveniente de este estanque hacia los intercambiadores de calor.

Para esta última opción se visualiza el ocupar parte del flujo de condensados sucios y utilizarlos en el lavado de los filtros lavadores de pasta de celulosa en el área de Lavado y Clasificación, como reemplazo del agua caliente que actualmente está en el rango de 280 m³/h. Esta medida significaría un ahorro de agua industrial no contemplado dentro del estudio realizado y también, aliviar la operación de los intercambiadores de calor, sin tener que enviar a desagüe agua industrial limpia para refrigerar riles.

5.3.10 Área de Secado

5.3.10.1 Pozo de recuperación

En este pozo de recuperación llegan las aguas de refrigeraciones provenientes de cinco bombas de vacío, la prensa de fardos y tres equipos de control de temperatura de aceite. En total contabilizan un flujo 59 m³/h que, como se mencionó, van a parar a un pozo de recuperación, el cual fue construido hace 10 años aproximadamente, con el fin de proveer de agua de calidad industrial al lavado de canchas 11 y 12. Pese a ello, al quedar en desuso, esta agua recopilada va a efluentes, por lo que se considera importante su recuperación, dado el volumen y el pozo ya construido disponible.

En la figura 5.42 se puede ver la ubicación del pozo y sus alrededores:



Figura 5.42: Ubicación pozo de recuperación en desuso

Es importante que antes de darle un nuevo destino al agua de este pozo, se consideren medidas que permitan reducir las fuentes de contaminación, debido a las condiciones naturales propias del sector en donde está ubicado el pozo. La presencia de vegetación y suelo de tierra favorece que el pozo acumule suciedad, por lo tanto, se considera importante mejorar esta condición, ya sea con el levantamiento de obras de construcción que permita disponer de un suelo de cemento en los alrededores o con que el pozo esté dentro de una caseta que lo aisle de otras fuentes naturales, como por ejemplo de las lluvias. También es importante realizar labores de limpieza dentro del pozo para remover la suciedad que

acumule en él; de esta manera será posible reaprovechar una fuente importante de agua que se equipara al volumen de tratamiento actual del clarificador primario y que, debido a condiciones ajenas a la operación, se pierde su potencial uso como agua de calidad industrial.

Se propone las siguientes alternativas de recuperación:

- a) **Preparación maderas:** es una alternativa que permitiría independizar esta área del uso directo de agua industrial; actualmente solo se alimenta de agua industrial para el lavado de troncos y para las trampas de piedra, por lo que la turbidez no es un parámetro decisivo en este caso y, debido a que no hay fuentes de contaminación con licor, la medición de conductividad estaría dentro de parámetro.

Esta opción además tiene la ventaja de tener una vía de acceso al clarificador primario, donde se puede volver a tratar el flujo y, de contarse con una línea de retorno a partir de este equipo, significaría cerrar el circuito del área. Sin embargo, el pozo se encuentra a una distancia de 420 m del área de preparación maderas, por lo que se requeriría de una línea de 4 pulgadas con esa extensión y una bomba con una altura dinámica de 16,9 m.

- b) **Estanque 33-G-16:** es el punto de recuperación de agua más cercano dentro del área, ya que cuenta con una vía directa a las torres de enfriamiento de planta de agua, las cuales envían el flujo tratado a las piscinas de almacén. Con respecto a la distancia, sería necesario una línea de tubería de 4 pulgadas de diámetro, de 180 m de longitud y de una bomba con una altura dinámica de 7,8 m.

Análisis de opciones

Aparentemente estas dos opciones son igualmente viables y el decidir por alguna de las dos dependería de los costos asociados, sin embargo, en el caso de Preparación Maderas, el flujo de agua es enviado hacia el clarificador primario, por lo que si a futuro se realiza una línea de retorno hacia la cámara de llegada de planta de agua, el flujo de agua de Secado se estaría recuperando dos veces. Esto es muy positivo, ya que el reutilizar y reciclar las aguas es a lo que se apunta como medida efectiva que permite reducir el uso de agua.

En la figura 5.43 se puede ver en el punto 1 la ubicación del pozo del área de secado, en el punto 2 el área de preparación madera y en el punto 3 el estanque de recuperación de aguas del área de secado.

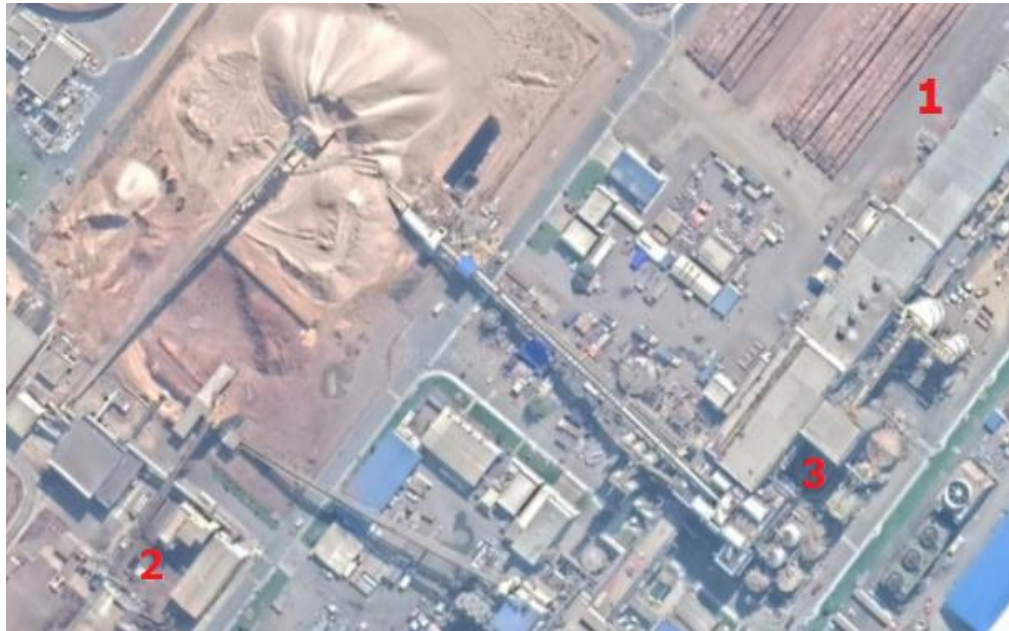


Figura 5.43: Ubicación puntos de recuperación de agua

5.4 Tipos de propuestas

En base a las propuestas de la sección anterior, es posible identificar tres tipos de medidas comunes, con sus respectivas acciones requeridas para reducir el consumo de agua en cada caso, como se muestra en la tabla 5.19.

Tipo de medida	¿Uso localmente?	¿Retratamiento?	¿Reincorporación hacia almacén general?
1. Reúso Aguas de Proceso	SI	NO	NO
2. Recuperación Aguas de Proceso	NO	SI	SI
3. Recuperación Agua de refrigeración y/o sello de bombas	NO	NO	SI

Tabla 5.19: Medidas generales y acción requerida

En base a los tipos de medidas es posible agrupar las propuestas como se muestra en la tabla 5.20.

Tipo de Medida	Área	Operación	Flujo [m³/día]
Reúso Aguas de Proceso	Desmineralizado	Rechazo de osmosis	600,0
	Horno de Cal	Descansos	228,0
	Caustificación	Bomba de vacío	381,6
	Secado	Pozo de aguas de refrigeración	1420,8
Recuperación Agua de Proceso	Planta de Agua	Muestreadores	120,0
	Caldera Recuperadora	Canaletas de fundido	16,8
	Caldera Recuperadora	Lavado de gases	84,0
	Desmineralizado	Rechazo de condensado	96,0
	Efluentes	Clarificador 1º	1440,0
Recuperación Agua de refrigeración y/o sello de bombas	Caldera de Poder	Agua refrigeración	345,6
	Digestores	Agua sello	559,2
	Lavado y Clasificación	Agua sello	220,8
	Evaporadores	Agua sello	566,4
	Turbogenerador	Válvula de agua	1296,0
Total de agua			7375,2

Tabla 5.20: Categorías de propuestas de mejoras

5.5 Priorizar la Realización de Proyectos

Con el fin de abordar la recuperación del recurso hídrico de la Planta Constitución, se planteó en el capítulo anterior una variada cantidad de propuestas para cada flujo a reincorporar según el área de producción. En esta sección se planteará el cómo sería posible priorizar la realización de una propuesta por sobre otra y qué variables son importantes de considerar en el proceso.

Se sostiene que la decisión respecto a la realización o no de una propuesta puede ser abordada por medio de un problema de programación lineal de optimización. El fin de plantear este problema es establecer los criterios que ayudarán a escoger la realización de un conjunto de propuestas por sobre otras y con ello, tener en conocimiento la información requerida para tomar la opción que signifique un mayor beneficio.

5.5.1 Planteamiento del Problema

Teniendo en cuenta la cantidad de propuestas elaboradas surge la necesidad de analizar el cómo abordar la decisión de llevar a cabo distintos proyectos por sobre otros, para finalmente decidir una cartera de proyectos que se ajuste a las necesidades de la empresa.

Se establece entonces que existe un total de N propuestas para la Planta de Celulosa Arauco que pueden ser desarrolladas en distintas áreas de producción, cada una orientada a reincorporar uno o más flujos en una misma propuesta.

Dependiendo de la ubicación de las fuentes de agua y del proceso productivo de cada flujo a recuperar, se puede evidenciar que algunas propuestas pueden ser excluyentes entre sí como también dependientes de la realización de otras propuestas.

Como se vio en el anexo del Costo de Producción de Agua industrial, el ahorro depende de su calidad de agua ya estudiada que se quiere recuperar, por lo que se define el parámetro x_j que representa el tipo de agua asociada a una propuesta j , toma el valor 1 si es agua de calidad industrial y 0 si es de calidad no industrial.

Las propuestas cumplirán lo siguiente:

- Para cada propuesta j se tendrá un conjunto de propuestas D_j que no podrá realizarse si se lleva a cabo la propuesta j , si dentro del conjunto D_j existe una propuesta que se realizará, entonces la propuesta j no puede realizarse.

Ejemplo de esto es que para recuperar el agua no industrial del lavado de filtros de arena se tiene las propuestas:

- a) Filtro Auto limpiante.
- b) Cerrar circuito.
- c) Línea hacia Clarificador 1º.

Si se decide recuperar el agua hacia el Clarificador 1º, significa que ya no es necesario cerrar circuito de agua localmente ni tampoco instalar un nuevo equipo de filtración, porque el flujo de agua no industrial ya se estaría recuperando con la realización de una de las propuestas. Por tanto, el conjunto $D_{\text{línea hacia Clarificador 1º}}$ estaría conformado por las propuestas Filtro auto limpiante y Cerrar circuito.

- Para cada propuesta j se tendrá un conjunto de propuestas E_j que deberán realizarse para que se lleve a cabo la propuesta j , si dentro del conjunto E_j existe una propuesta que no se realizará, entonces la propuesta j no puede realizarse.

Ejemplo de esto es que para llevar a cabo la propuesta "Línea hacia Clarificador 1º" es necesario que se realice la propuesta "Recuperación de agua del Clarificador 1º". Por tanto, el conjunto $E_{\text{línea hacia Clarificador 1º}}$ estaría conformado por esta última propuesta.

Dentro de las restricciones financieras se tendrá que para llevar a cabo cada propuesta j es necesario invertir presupuesto p_j . Con respecto al dinero ya invertido en agua que se quiere recuperar se tendrá que C_{Quimicos} es el costo para tratar 1 m³ de agua; $C_{\text{electricidad}}$ corresponderá al costo asociado a impulsar 1 m³ de agua a la planta de celulosa y C_{total} será la suma de ambos costos. Con lo anterior se debe elegir una cierta cantidad de propuestas que no superen el presupuesto total P .

En cuanto a restricciones temporales se tendrá M_j como los meses requeridos para implementar la propuesta j y S_j como los meses de

expectativa para recuperar el monto p_j invertido si se decidió realizar la propuesta j . Estos valores dependerán de cada superintendencia y deben ser fijados según necesidad.

V_j Será el volumen mensual de agua que se recuperaría si la propuesta j se lleva a cabo, cada volumen asociado a la propuesta j se identificará como agua industrial o como agua no industrial, esto con el fin de establecer que en el caso del agua no industrial solo se recuperaría $V_j \cdot C_{electricidad}$ de lo ya invertido, es decir lo invertido en impulsión de este volumen.

Actualmente la importancia del retratamiento y/o la reutilización del agua es equivalente a tener virtualmente dos piscinas de agua, una industrial y otra no industrial al lado de la cámara de llegada y que ninguna fuese utilizada. Por lo para cada flujo a reincorporar se tiene que:

- Si V_j es agua no industrial y es recuperada significa que $V_j \cdot C_{electricidad}$ es el monto que no se requiere invertir en impulsión, porque ya se encuentra en la planta de celulosa.
- Si V_j es agua industrial y es recuperada significa que $V_j \cdot C_{total}$ es el monto que no se requiere invertir en retratamiento e impulsión, porque ya se encuentra disponible en la planta de celulosa.

5.5.2 Variables de decisión:

$$y_j = \begin{cases} 1 & \text{Si se realiza la propuesta } j \\ 0 & \text{Si no se realiza la propuesta } j \end{cases}$$

5.5.3 Restricciones:

a) Propuestas que no se pueden llevar a cabo si j se lleva a cabo.

$$y_k + y_j \leq 1 \quad \forall k \in D_j \quad j = 1 \dots N$$

b) Pertenencia al conjunto D_j

$$\sum_{k=1}^N y_k = 1 \quad \forall k \in D_j \quad j = 1 \dots N$$

c) Propuestas que deben llevarse a cabo si j se lleva a cabo.

$$y_k \geq y_j \quad \forall k \in E_j \quad j = 1 \dots N$$

d) Pertenencia al conjunto E_j

$$\sum_{k=1}^N y_k = \text{Cardinalidad}(E_j) \quad \forall k \in E_j \quad j = 1 \dots N$$

e) Presupuesto contemplado.

$$\sum_{j=1}^N P_j \cdot y_j \leq P$$

f) El tiempo de expectativa de la propuesta j no puede ser menor al tiempo que requiere propuesta j en implementarse. Esto quiere decir que al menos debe pasar un mes luego de implementarse la mejora para que se perciba una disminución en el costo de tratar agua cruda.

$$S_j > M_j$$

g) Naturaleza de las variables.

$$y_j \in \{0, 1\} \quad j = 1 \dots N$$

5.5.4 Función Objetivo

Consiste en maximizar las utilidades de una cartera de propuestas: la primera suma representa los ingresos que se recuperarán debido a la realización de la cartera; el primer paréntesis de la primera suma indica la totalidad de los meses que se fijaría como plazo para recuperar los ingresos, el segundo paréntesis indica el monto en CLP por m^3 de agua que se recuperaría, donde se diferencia la calidad del agua por medio del factor x_j y el tercer paréntesis indica el volumen mensual a recuperar, y_j indica si se lleva a cabo la propuesta o no, por ende cada término de la primera suma tendrá valor nulo para las propuestas que no se realicen. La segunda suma indica el presupuesto total necesario a invertir para llevar a cabo la cartera de proyectos.

$$\text{máx } F = \sum_{j=1}^N [(S_j - M_j) \cdot (C_{\text{quimicos}} \cdot x_j + C_{\text{electricidad}}) \cdot (V_j \cdot y_j)] - \sum_{j=1}^N P_j \cdot y_j$$

El objetivo de maximizar la función F es que se llegue a un conjunto de propuestas, sujetas a las restricciones anteriores, que permita generar un mayor beneficio, debido a la recuperación de agua de la planta de celulosa.

De lo anterior es posible llegar a U_j , que representaría la utilidad de implementar la propuesta j en un tiempo M_j , con la expectativa de que en S_j se recupere lo invertido:

$$U_j = (S_j - M_j) \cdot (C_{\text{quimicos}} \cdot x_j + C_{\text{electricidad}}) \cdot V_j - P_j$$

Lo anterior permite formular una condición simple de cuantificar que ayudaría a decidir qué propuesta tiene mayor prioridad de ser realizada por sobre otra:

$$\text{Si } U_k > U_{k+1} \rightarrow \text{propuesta } k \text{ tiene prioridad} \quad \forall y_k = 1 \quad k = 1 \dots N$$

Es necesario comentar que los flujos propensos a contaminarse tendrán una menor prioridad que los flujos que estén exentos de este riesgo; el plantear este problema de programación lineal busca dar mayores herramientas de decisión para realizar las propuestas, sin embargo, no hay que dejar de lado la experiencia de los trabajadores y el cómo su visión puede ayudar a tener un panorama más amplio al momento de mejorar el proceso productivo y la gestión del uso de agua.

5.6 Comentarios generales

La disponibilidad de planos actualizados fue un inconveniente al momento de seguir las líneas de agua, debido a que constantemente se realizan modificaciones y no siempre en los proyectos se considera como las mejoras pueden afectar los planos asociados a otras áreas, por lo que el analizar las líneas en terreno, a pesar de ser una tarea que demandara más tiempo, fue necesario para tener una visión más certera de los circuitos de agua.

Dada las dimensiones de la planta y los objetivos planteados se priorizó las fuentes más significativas de reducción del uso de agua, ejemplo de esto es que se abordara solo las aguas sello de las áreas con mayor uso de bombas de impulsión ya que si se hubiese abordado la totalidad de las bombas de la Planta habría significado dejar fuera de estudio otros flujos de agua con mayor impacto de reducción, sin embargo el presente estudio permite sentar las bases para seguir trabajando en la reducción del uso de agua, ya sea identificando nuevos flujos de agua, cerrando circuitos o invirtiendo en equipos menos dependientes del uso de agua.

6 Conclusiones

Se cumplió con los objetivos propuestos, ya que fue posible evaluar el consumo de agua de la Planta Constitución en sus distintas áreas productivas, identificando flujos potenciales a recuperar y con ello, generar propuestas para reducir el uso de agua.

El problema actual de reducir el consumo de agua en las empresas de celulosa radica en la disponibilidad de equipos, instrumentación y de estrategias adecuadas para reaprovechar el recurso hídrico. Un elemento clave para reducir el uso de agua en cualquier planta de celulosa es cuestionarse si el destino actual de un flujo de agua es el más adecuado o si es posible retratarla, reutilizarla y/o reincorporarla en otro proceso.

Existen deficiencias en cuanto a la gestión del uso de agua en la Planta Constitución, ya que durante este estudio fue posible ver dificultades que se repetían en otras áreas, como la presencia de fuentes de agua de calidad industrial que no son aprovechadas, debido a la ausencia de un destino establecido. En base al trabajo realizado se puede concluir que esto se debe a que se ha priorizado la producción de celulosa por sobre la gestión del uso de agua, debido a que invertir en tecnología para aumentar la producción de celulosa ha generado mayores ganancias que invertir en reducir el uso de agua, sin embargo, este enfoque ha significado un costo medioambiental, ya que la localidad actualmente está en un escenario de escasez hídrica. Por lo

tanto, el maximizar la producción tiene que ir acompañado de la gestión eficiente de los recursos disponibles.

Se identificó que 1538 m³, utilizados diariamente en la refrigeración de bombas con sello de empaquetadura, pueden ser recuperados sin la necesidad de reemplazar alrededor de 100 bombas de impulsión en la planta de celulosa. Esto es posible si se lleva a cabo medidas de segregación de flujos y control continuo de parámetros de calidad de agua, por lo que el reemplazar un equipo dentro de un proceso no siempre es la única alternativa para reducir el uso de agua en una planta química.

El cómo se podría decidir la realización de un conjunto de proyectos, utilizando un enfoque matemático, permitió visualizar que el llevar a cabo una propuesta por sobre otra no es una decisión fácil, ya que conlleva tener en cuenta la calidad de agua del proceso que se quiere recuperar, el flujo, el presupuesto del proyecto y el tiempo requerido de implementación, entre otros factores. Por ello, incorporar toda esta información en una sola ecuación que maximice la utilidad monetaria que genera cada propuesta, permite ser una herramienta de decisión útil para medir su impacto. Se recomienda hacer un estudio enfocado en la valorización de carteras de proyectos en base al trabajo realizado en este estudio.

Dentro de las propuestas formuladas para reducir el uso de agua en la Planta Constitución, se observa la existencia de una relación entre el nivel de instrumentación requerido y su efectividad en la reducción del consumo de agua. Considerando lo anterior, optar por la opción más económica sin considerar la efectividad de una solución a largo plazo se traduce en costos no considerados y daños colaterales; ejemplo de esto fue la decisión de utilizar a nivel planta mayoritariamente bombas de sello con empaquetadura, lo cual, si bien en un principio significó optar por una tecnología de mantención fácil y económica, actualmente repercute en el uso excesivo de agua para mantener funcionando estas bombas de impulsión.

Es importante generar un cambio de enfoque del cómo se utiliza el agua; el no esperar a que se convierta en un recurso escaso a nivel general como para empezar a tomar medidas de control ya que actualmente las plantas del negocio de celulosa Arauco se están viendo afectadas por el escenario actual de escasez hídrica.

Para poder efectuar una reducción efectiva al reincorporar agua hacia el almacén de una planta de celulosa es clave que equipos como torres de enfriamiento, bombas de impulsión en circuitos de recuperación de agua y estanques de aguas calientes estén dimensionados holgadamente ya que estos son los puntos más comunes para recuperar agua en una planta de celulosa y cuando las empresas empiezan a incorporar estrategias de

reducción de consumo de agua es común que se exceda la capacidad de los equipos más antiguos y sea necesario realizar una mayor inversión.

Actualmente existen empresas dedicadas al rubro de la celulosa con un menor uso de agua que el esperado para Planta Constitución, sin embargo, esto se debe a que en su mayoría son empresas que desde un principio aspiraron al bajo consumo de agua, mientras que en Planta Constitución el reducir el consumo de agua representa un desafío más reciente. El presente estudio significa un primer paso para llegar a valores similares de consumo de agua de otras plantas del complejo Arauco y a futuro permitiría reducir más el uso de agua considerando medidas como por ejemplo: recuperando la totalidad del agua sello de bombas en todas las áreas, aprovechando fuentes de calor locales para reducir el uso de vapor o invirtiendo en equipos que no requieran de agua para su mantención u operación.

Por medio de la evaluación y análisis de los procesos de la Planta Constitución fue posible visualizar una reducción de un 17% del uso de agua, lo que se traduce en un ahorro de \$13.532.379 mensual. Dadas las similitudes de los procesos de producción de celulosa con respecto a otras plantas de la empresa Arauco, las medidas de reducción del uso de agua elaboradas en este estudio pueden ser adaptadas y replicadas en otras regiones del país, lo que permitiría generar un impacto importante en el uso de agua de la industria química.

7 Bibliografía

- [1] FILIPPI, F. 2016. Cambio Climático y Desarrollo: Implicaciones del Cambio Climático en la Cooperación para el Desarrollo. Tercera Edición. Musol ONG. 21p.
- [2] BAJPAI, P. 2010. Overview of Pulp and Papermaking Processes. En: Environmentally Friendly Production of Pulp and Paper. John Wiley & Sons Inc. pp 14-16.
- [3] CELULOSA ARAUCO 2018. Reporte de Sostenibilidad Arauco 2018 [En línea] <<https://www.arauco.cl/chile/sostenibilidad/reportes-de-sostenibilidad/>> [Consulta: 18 junio 2019]
- [4] UPM URUGUAY 2019. Proceso productivo para la producción de celulosa. [En línea] <<https://www.upm.uy/planta/proceso-productivo/>> [Consulta: 20 marzo de 2019]
- [5] TRAN, H. y VAKKILAINEN, E. 2016. The Kraft Chemical Recovery Process [En línea]. <<https://www.tappi.org/content/events/08kros/manuscripts/1-1.pdf>> [Consulta: 20 marzo de 2019]
- [6] LOAIZA, R. "et al". 2007. Impacto de la eficiencia en el consumo de biomasa en el sector celulosa chileno. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 16(2): 169-181.
- [7] CELULOSA ARAUCO 2017. Memoria Arauco 2017 [En línea] <https://www.arauco.cl/peru/wp-content/uploads/sites/22/2017/07/MEMORIA_ARAUCO_2017_FINAL.pdf> [Consulta: 23 junio 2019]
- [8] CELULOSA ARAUCO 2016. Plan de Calidad y Medio Ambiente [Plano]. Código 02.601.012.A1.
- [9] PEÑA, H. LURASCHI, M. y VALENZUELA, S. 2004. Agua, desarrollo y políticas públicas: la experiencia de Chile. Revista de Gestión del Agua de América Latina. Volumen 1. N°2, pp. 14-17.
- [10] CELULOSA ARAUCO. Reportes de Sostenibilidad Arauco 2010-2018 [En línea] <<https://www.arauco.cl/chile/sostenibilidad/reportes-de-sostenibilidad/>> [Consulta: 24 mayo 2019]

- [11] SOLLEY, W. MERCK, C. y PIERCE, R. 1988. Estimated use of water in the United States in 1985. USGS Circular 1004. United States Department of the Interior, United States Geological Survey. viii, 82 p.
- [12] ORGANIZACIÓN NACIONES UNIDAS. Importancia del Agua [En línea] <<https://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>> [Consulta: 26 abril 2019]
- [13] ORGANIZACIÓN NACIONES UNIDAS 2006. El agua, una responsabilidad compartida. 2º Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo [En línea] <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000144409_spa> [consulta: 26 abril 2019]
- [14] ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD 2019. Demanda de agua a 2025 [En línea] <<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>> [consulta: 2 junio 2019]
- [15] DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS 2016. Declaraciones de agotamiento de aguas superficiales. Atlas del Agua. [En línea] Santiago, Chile, Ministerio de Obras Públicas. <<http://www.dga.cl/DGADocumentos/Atlas2016parte3-17marzo2016b.pdf>> [consulta: 2 junio 2019]
- [16] MAULE ITATA COASTKEEPER 2009. Características del río Maule. [En línea] <<http://www.vigilantecostero.cl/rio-maule.html>> [consulta: 4 julio 2019]
- [17] DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS 2019. Pronósticos de Caudales de Deshielo Temporada de Riego 2019-2020. [En línea] Santiago, Chile, Ministerio de Obras Públicas. <https://www.mop.cl/Documents/Pronostico_caudales_deshielo_temporada_2019_2020_DGA.PDF> [consulta: 10 octubre 2019]
- [18] DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS 2019. Información Pluviométrica, Fluviométrica, Estado de Embalses y Aguas Subterráneas. [En línea] Santiago, Chile, Ministerio de Obras Públicas <https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/informacionhidrologica/Informacin%20Mensual/Boletin_05_Mayo_2019.pdf> [consulta: 10 octubre 2019]

- [19] DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS 2019. Decretos Zonas de Escasez Hídrica (2008-2020). [En línea] Santiago, Chile, Ministerio de Obras Públicas
<<https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursososhidricos/decretosZonasEscasez/Paginas/default.aspx>> [consulta: 10 octubre 2019]
- [20] COOPERATIVA.CL 2019. Sequía: Anuncian emergencia agrícola en nueve comunas del Maule. [En línea]. Cooperativa Regiones. 2 de septiembre, 2019. <<https://www.cooperativa.cl/noticias/pais/region-del-maule/sequia-anuncian-emergencia-agricola-en-nueve-comunas-del-maule/2019-09-02/125505.html>> [consulta: 12 octubre 2019]
- [21] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA 2010. Extracción Global de Agua 1900-2010. [En línea]
<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/image/WithTime_eng.pdf> [consulta: 4 junio 2019]
- [22] FONDO PARA LA COMUNICACIÓN Y LA EDUCACIÓN AMBIENTAL. Agua en el Planeta: Uso Industrial. [En línea] <<https://agua.org.mx/en-el-planeta/>> [consulta: 4 junio 2019]
- [23] BAJPAI, P. 2010. Overview of Pulp and Papermaking Processes. En: Environmentally Friendly Production of Pulp and Paper. John Wiley & Sons Inc. pp 12-15.
- [24] WORLD WILD LIFE FUND. Water Quality and Quantity. [En línea] <<https://www.worldwildlife.org/industries/pulp-and-paper>> [Consulta: 5 junio 2019]
- [25] CONFEDERATION OF EUROPEAN PAPER INDUSTRIES 2010. BAT Conclusions for the Production of Pulp, Paper and Board. Acronyms. [En línea]<<http://www.cepi.org/system/files/public/documents/events/other/ENV-14-187.pdf>> [consulta: 5 junio 2019]
- [26] ORVILLE, E. y MUSSEY, D. 1955. A study of the manufacturing processes with special emphasis on future water requirements. En: Water Requirements of the Pulp and Paper Industry. United States Department of the Interior. pp 23-26.
- [27] INTERNATIONAL CONFERENCE: 45 Years Recovery Boiler Co-operation in Finland: June 3 - 5, 2009. 2009. Lahti, Finland. Suomen Soodakattilayhdistys Finnish Recovery Boiler Committee. 7 p.

- [28] EDDE H. 1994. Techniques for Closing the Water Circuits in The Pulp and Paper Industry. *Water Sci Technol* 29 (5-6): 11–18.
- [29] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA 2018. Estadísticas de productos forestales. [En línea] <<http://www.fao.org/forestry/statistics/80938@180724/es/>> [consulta: 15 junio 2019]
- [30] FIBRIA 2015. Reporte de Sustentabilidad 2015. [En línea] <https://ri.fibria.com.br/enu/6389/Fibria_RS2015_EN_20160415.Eng.pdf> [Consulta: 15 junio 2019]
- [31] APRIL GROUP 2017. Informe Anual 2017. [En línea] <https://www.aprilasia.com/images/pdf_files/sr/APRIL%20SR%202017_Interactive.pdf> [Consulta: 18 junio 2019]
- [32] WATER TECH ONLINE 2013. China's Jinhai Pulp Facility: Innovation in Water Conservation and Discharge. [En línea]. *Process Water*. 1 de Febrero, 2013. <<https://www.watertechonline.com/process-water/article/16212380/chinas-jinhai-pulp-facility-innovation-in-water-conservation-and-discharge>> Consulta: 18 junio 2019]
- [33] CMPC 2014. Informe de Sustentabilidad 2014. [En línea] <<https://www.cmpc.com/wp-content/uploads/2015/11/REPORTE-INTEGRADO-CMPC-2014.pdf>> [Consulta: 18 junio 2019]
- [34] ARAUCO 2018. Reporte de Sostenibilidad Arauco 2018. [En línea] <https://www.arauco.cl/wp-content/uploads/2017/07/REPORTE_ARAUCO_2018.pdf> [Consulta: 18 junio 2019]
- [35] National Council for Air and Stream Improvement, Inc. (NCASI). 2008. Estimating water consumption at pulp and paper mills. Technical Bulletin No. 946. Research Triangle Park, NC: National Council for Air and Stream Improvement, Inc.
- [36] MONSALVE, J. y CARDONA, S. 2014. Electrocoagulación para reúso de aguas residuales del proceso de impresión en la industria papelera. Memoria de Ingeniero Químico. Medellín, Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Química. 45p.
- [37] BOLICK, T. y YOLTON, J 1996. The role of engineering in water conservation. *TAPPI Journal*. 79(12) pp. 125-127.

- [38] KINSTERY R. 1996. Water, water everywhere, but does it need to be that way?. TAPPI Journal. 79(12) pp. 45-51.
- [39] CHANDRA S. 1997. Effluent minimization: A little water goes long way. TAPPI Journal. 80(12) pp. 37-42.
- [40] PHAM, T. "et al" 2016. Industrial water mass balance as a tool for water management in industrial parks. Water Resources and Industry. 13(2016) pp. 14-21.
- [41] BEKITHEMBA, G. y SIPHO, M. JEFF, B. DARREN, L. 2003. Industrial water demand management and cleaner production potential: a case of three industries in Bulawayo, Zimbabwe Phys. Chem. Earth, 28 (2003), pp. 797-804.
- [42] BACCINI, P. y BRUNNER, P. 2012. Metabolism of the Anthroposphere: Analysis, Evaluation, Design. Second Edition, The MIT Press, Cambridge, MA, USA.
- [43] YEPES, V. y PELLICER, E. Aplicación de la metodología seis sigma en la mejora de resultados de los proyectos de construcción. [En línea] <<http://personales.upv.es/vyepesp/05YPX01.pdf>> [Consulta: 22 octubre 2019]
- [44] 10th LATIN AMERICAN AND CARIBBEAN CONFERENCE FOR ENGINEERING AND TECHNOLOGY: Integrando la Metodología DMAIC de Seis Sigma con la Simulación de Eventos Discretos en Flexsim: July 23-27, 2012. 2012 Panama City, Panama. LACCEI Org., pp. 23-27.
- [45] BREYFOGLE, F. 2003. Steps of Six Sigma. En: Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods, 2^o Edition. Canada. John Wiley & Sons. 1231 p.
- [46] PÉREZ E. 2014. Implementación de la metodología DMAIC- Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal. Tecnología en Marcha. 27(3), pp. 88-106.
- [47] 4th IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGEMENT OF INOVATION AND TECHNOLOGY: Project Portfolio Selection, From Past to Present: september 21-24, 2008. 2008 Bangkok, Thailand. ICMIT, pp. 287-292.

- [48] CONSEJO REGIONAL DE COQUIMBO 2020. Consejo Regional destinará \$3.253 millones del presupuesto 2020 para abordar la sequía. [En línea]. CORE. 8 de enero de 2020 <<https://www.corecoquimbo.cl/consejo-regional-destinara-3-253millones-del-presupuesto-2020-para/corecoquimbo/2020-01-08/124620.html>> [Consulta: 2 marzo 2020]
- [49] SUBSECRETARÍA DE DESARROLLO REGIONAL Y ADMINISTRATIVO. Gobierno Regional del Maule. [En línea] <<http://www.subdere.cl/divisi%C3%B3n-administrativa-de-chile/gobierno-regional-del-maule>> [Consulta: 2 marzo 2020]
- [50] SUBSECRETARÍA DE DESARROLLO REGIONAL Y ADMINISTRATIVO. Gobierno Regional de Coquimbo. [En línea] <<http://www.subdere.cl/divisi%C3%B3n-administrativa-de-chile/gobierno-regional-de-coquimbo>> [Consulta: 2 marzo 2020]
- [51] LA TERCERA 2020. Precios de la celulosa podrían subir en el corto plazo. [En línea]. 12 de febrero de 2020 <<https://www.latercera.com/pulso-trader/noticia/precios-la-celulosa-podrian-subir-corto-plazo/1007056/>> [Consulta: 2 marzo 2020]
- [52] NOVOKUZNETSK RESERVOIR METAL CONSTRUCTIONS PLANT. Storage tanks with capacity of 100 up to 20000 m3.[En línea] <<http://www.nzrmk.ru/en/products/storage-tanks-with-capacity-of-100-up-to-20000-m3.html>> [Consulta: 18 noviembre 2019]
- [53] STF MATHOLDING GROUP. Funcionamiento de filtro auto limpiante. [En línea] <<http://www.stf-filtros.com/es/filtros-malla-autolimpiante>> [consulta: 30 octubre 2019]
- [54] HAZEN, A. y WILLIAMS, G. 1909. Hydraulic tables: the elements of gagings and the friction of water flowing in pipes, aqueducts, sewers, etc. as determined by the Hazen and Williams formula and the flow of water over sharp-edged and irregular weirs, and the quantity discharged, as determined by Bazin's formula and experimental investigations upon large models. Second edition, New York, United States. J. Wiley & sons.
- [55] THE ENGINEERING TOOL BOX. Hazen-Williams Equation - calculating Head Loss in Water Pipes. [En línea] <https://www.engineeringtoolbox.com/hazen-williams-water-d_797.html> [Consulta: 22 octubre 2019]

- [56] ÇENGEL, Y. Transferencia de calor y masa, un enfoque práctico. Propiedades físicas del agua saturada a distintas temperaturas. Tercera edición, McGraw Hill.
- [57] ASOCIACIÓN CHILENA DE SEGURIDAD. Descripción de Calderas y Generadores de Vapor: Caldera la Mont [En línea] <https://www.achs.cl/portal/trabajadores/Capacitacion/CentrodeFichas/Paginas/Descripciones_de_calderas_y_generadores_de_vapor.aspx> [consulta: 22 octubre 2019]
- [58] MUÑOZ, I. 2003. Life Cycle Assessment as a Tool for Green Chemistry: Application to Kraft Pulp Industrial Wastewater Treatment by Different Advances Oxidation Processes. Master's Thesis. Barcelona, Universitat Autònoma de Barcelona, Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals. 45 p.

8 Anexos

8.1 Anexo A

Nomenclatura de Equipos en Planta Constitución

El tag de los equipos consiste en una serie de tres secuencias de caracteres, el primero es numérico e indica el área de producción, el segundo es alfabético e índice el tipo de equipo y el tercero es numérico y corresponde al número asociado al equipo. Las series se separan por un guión.

La siguiente tabla indica los códigos asociados a la primera serie, indicando el área:

Área	Número
Preparación Maderas	31
Planta de Efluentes	85
Digestores	32
Lavado y Clasificación	33
Secado	51
Evaporadores	63
Caldera Recuperadora	64
Caldera de Poder	73
Caustificación	66
Horno de Cal	65
Generación Eléctrica	74
Planta de Agua	82
Captación de Agua	81
Distribución de Agua	86
Desmineralizado	84

Tabla 8.1: Número de áreas de producción

La siguiente tabla indica el tipo de equipo:

Equipo	Letra
Recipiente a presión	C
Recipiente atmosférico	G
Filtro	Q
Intercambiador de calor	E
Bomba	J
Ventilador o compresor	K
Correa transportadora	P
Turbina	I
Fosa o Piscina	A

Tabla 8.2: Código según equipo

Por ejemplo, 63-C-21 corresponderá a:

63: área de Evaporadores

C: Recipiente presurizado

21: numero correlativo al equipo

También se da el caso de que cuando se habla de una misma área, se suele omitir el primer código y solo se hace referencia al tipo de equipo y su número correlativo.

En la figura 8.1 se puede visualizar las áreas mencionadas en la tabla 8.1

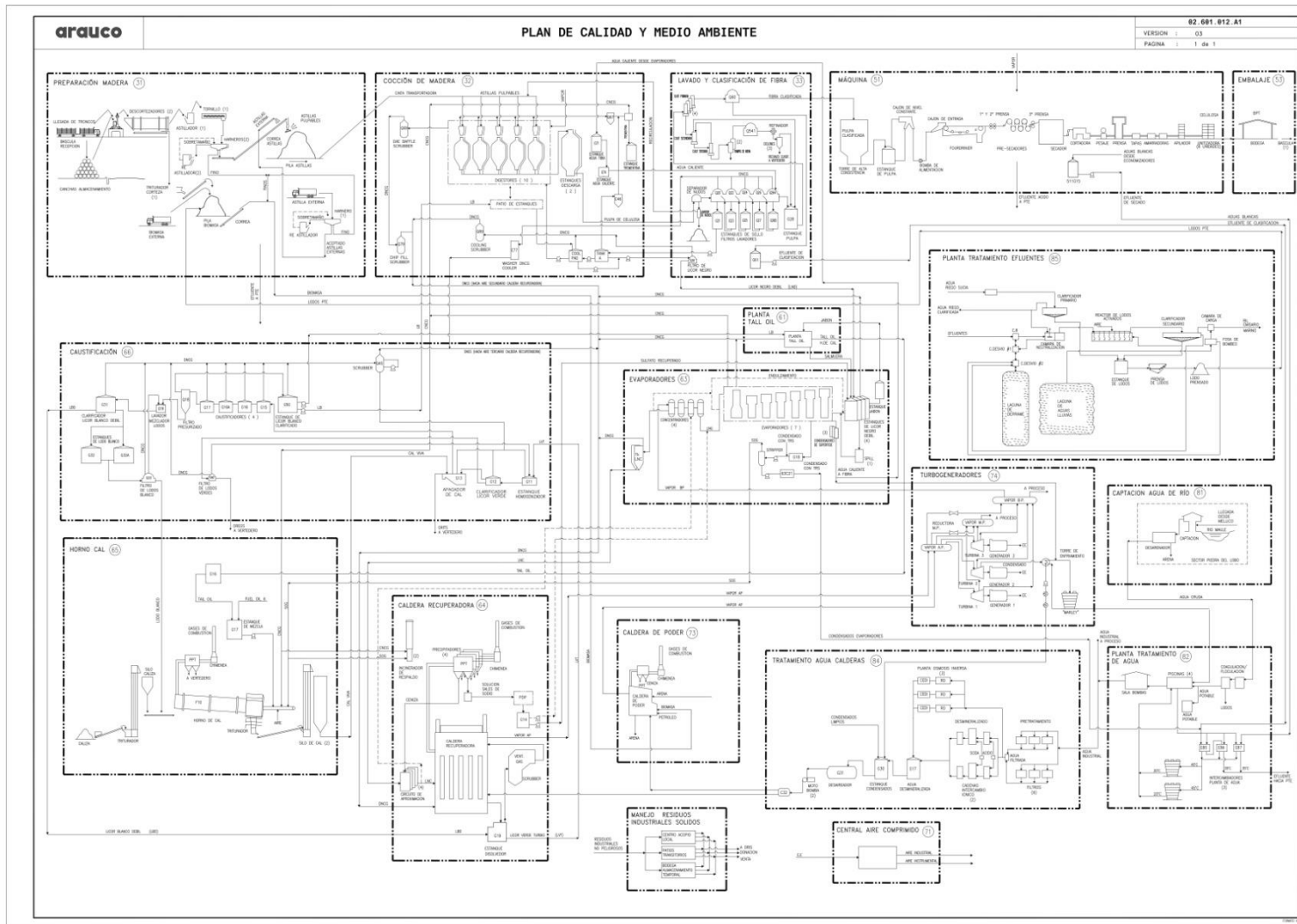


Figura 8.1: Flowsheet de la Planta Constitución⁹ [8]

⁹ Para mejor visualización se recomienda acceder al formato digital del documento

8.2 Anexo B

Aguas de Sello y Refrigeración Área de Evaporadores:

Operación	Equipo	Flujo [m ³ /h]
1° Etapa	63-J-101	0,45
	63-J-102	0,72
	63-J-731	0,36
	63-J-732	0,36
	63-J-301	0,45
	63-J-302	0,45
	63-J-311	0,72
	63-J-312	0,72
2° Etapa	63-J-141	0,40
	63-J-142	0,72
	63-J-701	0,30
	63-J-711	0,28
	63-J-712	0,36
3° Etapa	63-J-151	0,45
	63-J-152	0,30
	63-J-153	0,36
	63-J-235	0,60
	63-J-236	0,45
	63-J-237	0,51
	63-J-238	0,45
	63-J-325	0,45
	63-J-335	0,72
	63-J-161	0,60
	63-J-171	0,40
	63-J-162	0,60
	63-J-172	0,60
	63-N-16	0,60
	63-J-117	0,90
63-J-355	0,40	

Tabla 8.3: Mediciones bombas con agua sello

Operación	Equipo	Flujo [m³/h]
Circuito Vacío	63-J-721	0,30
	63-J-591	0,72
	63-J-592	0,60
	63-J-391	0,60
	63-J-296	0,45
	63-J-297	0,33
Desactivador de Calcio	63-J-672	0,36
	63-J-662	0,60
	63-J-652	0,45
	63-J-642	0,60
	63-J-621	0,90
	63-J-673	0,72
Stripper	63-J-181	0,45
	63-J-182	0,51
	63-J-501	0,45
	63-J-541	0,45
	63-J-542	0,45
Total	-	23,6

Tabla 8.4: Mediciones bombas con agua sello continuación

Aguas de Sello y Refrigeración Caldera Recuperadora

Operación	Equipo	Flujo [m³/h]
64-G-14 y 64-G-75	64-J-751	0,34
	64-J-141	0,33
	64-J-143	0,36
	64-J-147	0,33
64-G-33	64-J-121	0,51
	64-J-122	0,45
64-G-39	64-J-331	0,45
	64-J-332	0,40
64-G-17	64-J-392	0,45
	64-J-393	0,40
Circuito de aproximación de licor negro	64-J-181	0,45
	64-J-182	0,40
64-G-19	64-N-19A	0,72
	64-N-19B	0,72
	64-J-192	0,60
	64-J-193	0,60
	64-J-194	0,51
Total	-	8,02

Tabla 8.5: Mediciones bombas con agua sello

8.3 Anexo C

Mediciones de conductividad

A continuación se presentan las mediciones de conductividad de los retornos de condensado hacia el área de Desmineralizado durante el mes de octubre de 2019:

Área de Secado

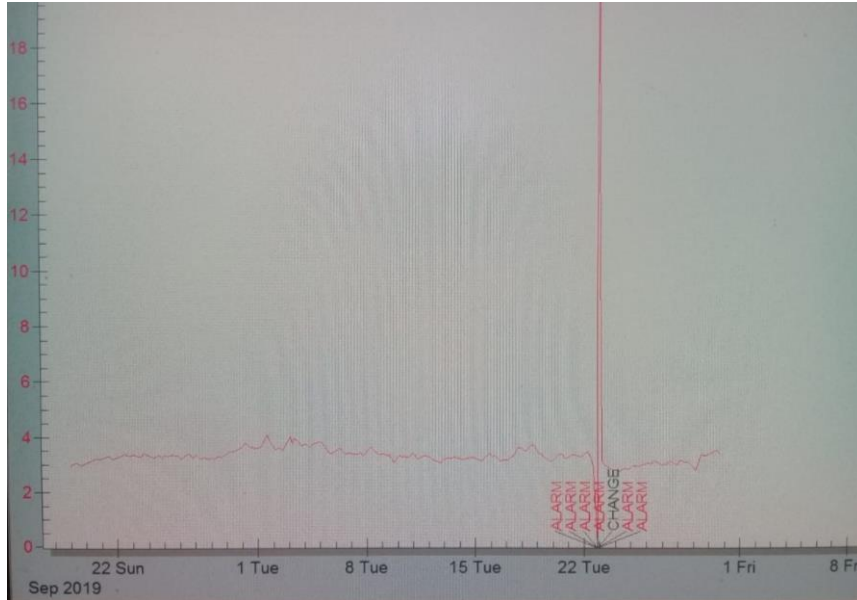


Figura 8.2: Registro de conductividad en pantalla DCS Área Secado

Área de Digestores

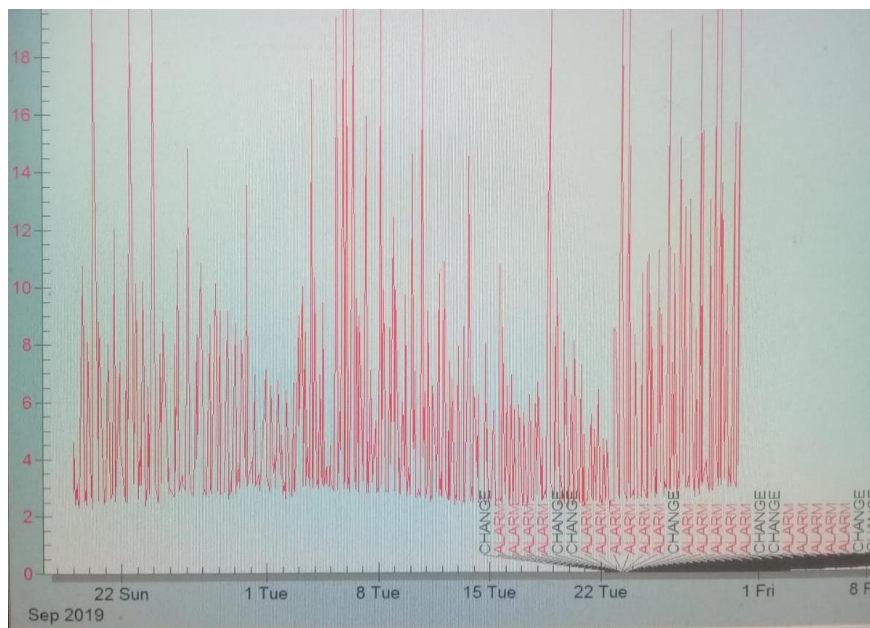


Figura 8.3: Registro de conductividad en pantalla DCS Área Digestores

Área de Evaporadores

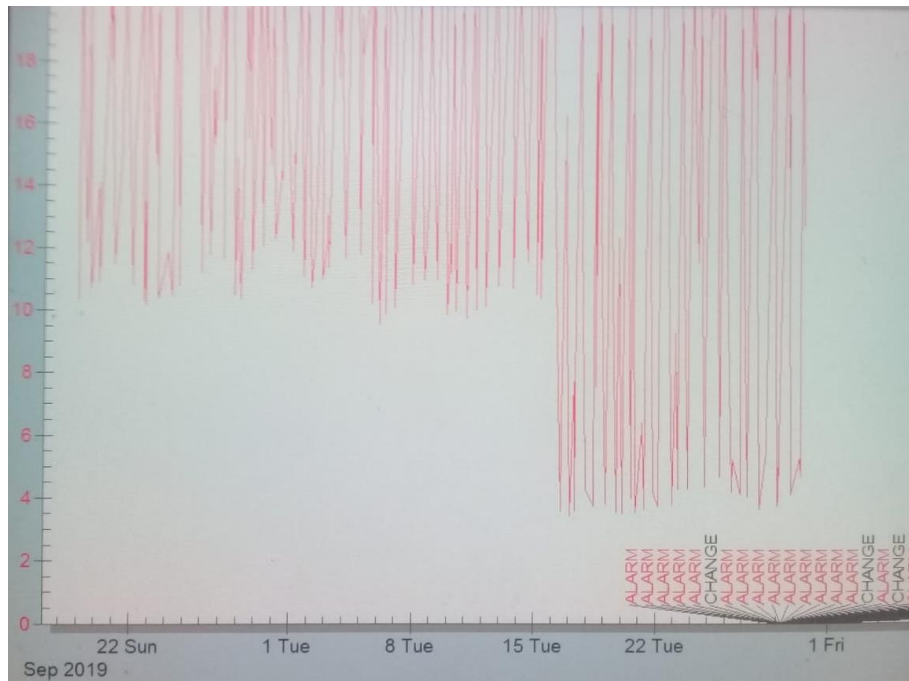


Figura 8.4: Registro de conductividad en pantalla DCS Área Evaporadores

8.4 Anexo D

Costo de producir agua para Planta Constitución

Con el fin de hacer una evaluación de la gestión de agua es que se ve la necesidad de cuantificar el costo de producir agua industrial hacia la planta de celulosa, para ello se considerará la energía eléctrica utilizada en la impulsión y captación de agua del río Maule como también los insumos que son necesarios para tratar el agua cruda y llevarla a la calidad de agua industrial. No se considerará el costo asociado a la fuerza laboral ya que estos son costos fijos y no dependen de la cantidad de agua tratada.

Actualmente no existen costos asociados a impuestos estatales por el concepto de derechos de agua del río Maule.

Los costos de los reactivos necesarios fueron proporcionados por el área de insumos y se presentan a continuación:

Reactivos Químico	Costo [USD/ton]
Coagulante ECO 2100	4.500
Floculante ECO 1024	856
Hipoclorito de Sodio	236

Tabla 8.6: Costos de reactivos químicos, fuente: área de Insumos

Los consumos promedio de estos reactivos se pueden encontrar en el informe mensual de operación de diciembre del año 2018, el cual incluye la información estadística de los meses anteriores del mismo año. Se escogió tomar como referencia este informe porque abarca un año completo de operación. A continuación, se presentan las cantidades reactivos utilizadas en promedio durante el año 2018:

Reactivo Químico	Cantidad utilizada [ton/adt]
Coagulante ECO 2100	$5,70 \times 10^{-4}$
Floculante ECO 1024	$1,72 \times 10^{-5}$
Hipoclorito de Sodio	$1,10 \times 10^{-3}$

Tabla 8.7: Cantidad de reactivos químicos utilizados, fuente: Informe Mensual de Operación 2018 Arauco

Con los datos anteriores se obtiene un costo por tonelada de celulosa producida:

Insumo	Costo [USD/adt]
Coagulante ECO 2100	2,570
Floculante ECO 1024	0,0147
Hipoclorito de Sodio	0,259
Total Insumos	2,843

Tabla 8.8: Costos cuantificados por reactivos

Para la cuantificación del costo de energía asociado al metro cubico de agua se tomó como referencia el precio de venta con el que se provee de electricidad al sistema interconectado central. Estos valores son proporcionados por el centro de operaciones de Arauco Bioenergía. En la tabla siguiente se adjunta también los consumos específicos mensuales de electricidad, los cuales se obtuvieron a partir del informe mensual de operación del año 2018.

Mes	Costo electricidad [USD/MWh]	Consumo Bocatoma [MWh/ADT]
Enero	47,3	0,0244
Febrero	52,2	0,0264
Marzo	67,8	0,0259
Abril	58,5	0,0235
Mayo	71,2	0,0244
Junio	78,1	0,0239
Julio	60,7	0,0237
Agosto	75,6	0,0242
Septiembre	53,8	0,0241
Octubre	46,9	0,0239
Noviembre	54,7	0,0243
Diciembre	45,2	0,0241

Tabla 8.9: Costos y consumos de electricidad, fuente: Informe Mensual de Operación 2018 y Arauco Bioenergía

Con los datos anteriores, se llega al costo promedio de electricidad en la bocatoma por tonelada de celulosa producida del año 2018:

Mes	Costo [USD/adt]
Enero	1,15
Febrero	1,38
Marzo	1,75
Abril	1,38
Mayo	1,74
Junio	1,86
Julio	1,44
Agosto	1,83
Septiembre	1,30
Octubre	1,12
Noviembre	1,33
Diciembre	1,09
Promedio	1,45

Tabla 8.10: Costo específico de electricidad utilizada en impulsión de agua

Teniendo el costo específico de los insumos y de la electricidad se llega a un costo total de 4,29 [USD/adt]

Finalmente, como la planta de celulosa produjo en promedio **903,51 adt/día** y trató en promedio **46.499 m³/día** de agua durante el año 2018, se obtiene un consumo de agua equivalente a **51,46 m³/adt**, es decir un costo de **0,0833 USD/m³** de agua tratada, equivalente a **61,89 CLP/m³**. (Referencia dólar 742 CLP al 1 de noviembre de 2019)

8.5 Anexo E

Dimensionamiento de tuberías y bombas

Con el fin de calcular la altura de elevación necesaria para las bombas de impulsión, se utilizó la ecuación de Hazen-Williams, la cual es de utilidad para el caso de la planta Constitución ya que el fluido de interés a impulsar es agua. La ecuación tiene la restricción de que solo puede ser usada en regímenes turbulentos [54]

$$H_{carga} = \frac{10,678 \cdot L}{D^{4,87}} \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852}$$

L: Longitud de tubería [m], D: Diámetro tubería [m], Q: Flujo [m³/s],

C: Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams, H_{carga}: Altura de carga [m]

H_s: Altura estática

Se utilizó el coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams de 140 el cual es equivalente a una tubería de acero [55].

La altura dinámica de la bomba estará dada por:

$$H_D = H_s + H_{carga}$$

Una de las principales exigencias de la ecuación de Hazen Williams es que sea ocupada en regímenes turbulentos, es decir con un número de Reynolds superior a 10⁵ [55]. Por lo tanto con el fin de dimensionar la capacidad de las bombas requeridas en los distintos proyectos, se plantea llegar a una expresión matemática que, según el flujo a impulsar, permita saber el diámetro máximo de tubería que asegure el régimen turbulento.

Se tomó como referencia el agua a 25° C que tiene una viscosidad dinámica de 0,891E-3 [Pa·s] y una densidad de 997 [m³/s]. [56]

Para llegar a esta expresión se requiere de dos ecuaciones: el número de Reynolds en función de la velocidad lineal del fluido y el flujo en función de la velocidad lineal y del diámetro de tubería:

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

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot V$$

Si se reemplaza la primera ecuación en la segunda, se llega a la siguiente expresión:

$$Q = \frac{\pi \cdot D \cdot Re \cdot \mu}{4 \cdot \rho}$$

Luego si se reemplaza la viscosidad dinámica, la densidad y el número de Reynolds requerido en la ecuación anterior, se obtienen la siguiente expresión:

$$D_{max}[m] = Q \left[\frac{m^3}{s} \right] \cdot 14,247$$

En donde D_{max} corresponde al diámetro máximo que asegura la impulsión de flujo turbulento. Lo cual permitirá dimensionar en las distintas propuestas el diámetro de tubería requerido para cada flujo a impulsar.

8.6 Anexo F

El levantamiento de información de este anexo responde a la necesidad del autor de comprender el funcionamiento de las áreas productivas y a partir de ello poder generar estrategias de reducción del uso de agua. Cada consumo dentro de la planta tiene su justificación y el comprender el proceso fue un requisito para llevar a cabo los objetivos planteados.

Este anexo también permite al lector entender de mejor forma la operación de las áreas productivas.

8.6.1 Área de Captación de Agua

Descripción

El ciclo del agua de la planta de celulosa Constitución se inicia a orillas del río Maule en el área de Captación de Agua, ubicada a 13,15 km aguas arriba de la planta industrial, en un lugar denominado Piedra del Lobo.

El lugar fue escogido debido a la baja presencia de cloruros propios de las mareas, ya que en caso contrario las aguas con un alto contenido de cloruros ocasionan daños en las estructuras metálicas de los equipos de planta ocasionando corrosión en tuberías y estructuras metálicas. Sin embargo, debido al cambio climático se ha observado, durante los primeros meses del año, eventos aislados de aumento en la concentración de cloruros en la bocatoma por lo que se ha debido recurrir a una bocatoma provisoria ubicada dos kilómetros aguas arriba por la ladera norte, en el sector de Mellico, esto con el fin de captar agua con una menor concentración de cloruros. Esta variable se ve reflejada en una medición de la conductividad del agua captada, se establece como cota superior 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, superado este valor se pone en servicio la bocatoma de Mellico.

Otra variable que debe ser cuantificada es la turbidez, la cual no puede superar 1000 NTU, esto se debe a que en la práctica se ha visto que por sobre este valor, la operación de separación posteriores se ven perjudicadas y no se alcanza el valor óptimo de turbidez asociada al agua que se envía a las distintas áreas de la planta, como medida de mitigación de esta condición frente a eventos, se procede a disminuir el flujo de captación hasta que mejore la condición de alta turbidez en el río y así mantener la eficacia de los equipos de remoción de sólidos en la planta de tratamiento.

El agua captada por estas bombas es enviada desarenadores (81-A-20), el cual consiste en 8 cámaras con dos puentes rastra en total, este equipo cumple la función de eliminar el 50% de las partículas presentes en el agua con un tamaño superior a los 40 μm , a su vez el equipo cuenta con bombas extractoras de fango que permite remover la arena acumulada, el equipo tiene una capacidad de tratar 1250 m^3/h . Parte del agua del

desarenador es captada por la bomba 81-J-301, la cual opera en un rango de 10-90 L/min y permite ser utilizada en la planta de potabilización de agua que abastece agua potable al personal de la bocatoma y tiene una capacidad de almacenamiento de 1000-1500 L de agua potable cumpliendo la norma chilena .

Posterior a este proceso, se encuentra la sala de impulsión la cual cuenta con tres bombas horizontales (81-J-205/206/207), cada una tiene una capacidad de flujo de 1500 m³/h y una potencia de 270 kW y se ponen en servicio según el requerimiento de agua cruda hacia planta de agua, la impulsión de agua se encuentra en el rango de 1400-2600 m³/h, la cual recorre el tramo de 13 km por una tubería de 42' de diámetro, el tramo de la línea hacia planta de agua cuenta con medidas de protección como: purgas sónicas o ventosas, drenajes y anti-golpe de ariete (antibaliere).

Esta línea además posee dos tomas de agua, una ubicada en la Planta de Biomasa Viñales, la cual consume un máximo de 200 m³/h y otra para la comunidad de Santa Olga con un consumo máximo de 60 l/s.

8.6.2 Área de Planta de Agua

Descripción

El agua cruda llega a planta de agua al estanque de recepción 82-A-50, el cual tiene una capacidad de 1080 m³ y llega con las siguientes condiciones:

Parámetro	Valor
Caudal de llegada a planta	1400-2600 m ³ /h
Turbidez agua cruda	<250 NTU
pH agua cruda	6,5-8,5
Consumo de cloro	200-650 kg/turno
Dosificación de floculante	<14 kg/turno

Tabla 8.11: Parámetros de calidad de agua

Diariamente llega un promedio de 44.000 m³ de agua cruda, en el siguiente gráfico se puede ver la tendencia del caudal diario de llegada de agua durante el primer semestre del año 2019. Cabe destacar que durante los meses de marzo y abril se realizó la parada general de planta, lo cual justifica la disminución de los flujos de agua.

Con el fin tratar el agua que llega a la planta, se realiza una dosificación de reactivos tales como floculante, coagulante e hipoclorito de sodio en el estanque de llegada 82-A-50, el agua luego rebalsa hacia los

decantadores de manto de lodos (82-A-60/61), cada uno está conformado por un conjunto de canaletas. La alimentación de agua se produce de forma discontinua, por un sistema de vacío que unido a un conjunto de válvulas puestas a la atmosfera permiten romper el vacío que se genera produciendo las descargas de agua en forma intermitente hacia los decantadores y adicionalmente se genera una agitación en el interior del decantador permitiendo el contacto entre las partículas coaguladas. Aumentando así el tamaño y el volumen de estas, para formar un manto de lodos.

La altura del manto de lodo formado debe alcanzar el nivel de la extractora de lodos. La eficiencia del decantador va a depender del grado de compactación y del porcentaje de concentración de lodos.

El exceso de lodo formado pasa por extractoras para ser eliminado mediante válvulas de purga.

Posteriormente al proceso de decantación el agua es enviada a cuatro piscinas de almacenamiento (82-A-80/81/82/83), el agua ya tratada tiene las siguientes especificaciones:

Parámetro	Valor
Conductividad	<250 $\mu\text{s/cm}$
Cloro residual	0,02-0,8 ppm
pH	6,5 - 8,5
Materia orgánica	10 - 20 ppm
Capacidad de almacén	12.000 - 14.000 m^3
Turbidez	<2,5 NTU

Tabla 8.12: Parámetros de calidad de agua

Distribución de agua

Las piscinas de almacenamiento cuentan con una red de válvulas manuales que permiten alimentar las distintas redes según la piscina en operación. Existen dos circuitos principales de agua industrial:

- Red Prioritaria
- Red No Prioritaria

Se hizo la diferencia de que las áreas enfocadas a la producción de celulosa Kraft tuviesen su red prioritaria de agua industrial, mientras que las áreas de recuperación de reactivos le correspondiesen la red de agua no prioritaria. Esto con el objetivo de que, frente a cualquier emergencia, no se vea afectada la distribución de agua a la totalidad de la planta y se privilegie la distribución hacia la red prioritaria.

En sus inicios, se hizo la siguiente distribución durante la construcción del circuito de agua de la Planta Constitución:

Red Prioritaria:

Nombre del Área	N° de Área
Preparación Maderas	A-31
Digestores	A-32
Lavado y Clasificación	A-33
Secado	A-51
Turbogenerador	A-74
Aire Comprimido	A-71
Caldera Recuperadora	A-64
Red de Incendio	A-86
Horno de Cal	A-65

Tabla 8.13: Red Prioritaria

Red No Prioritaria:

Nombre del Área	N° de Área
Caustificación	A-66
Caldera de Poder	A-73
Turbogeneradores	A-74
Desmineralizado	A-84
Evaporadores	A-63

Tabla 8.14: Red no Prioritaria

Sin embargo, con el pasar de los años la diferencia es cada vez menos notoria llegando al punto de que las bombas de impulsión correspondientes llegan a operar en paralelo alcanzando flujos similares de operación.

Por ejemplo, en la actualidad el área de desmineralizado cuenta con una red propia que es abastecida frecuentemente por la piscina 82-A-80 de Planta de Agua ya que se encuentra más aislada de las aguas de retorno enunciadas anteriormente. Por otro lado, Caustificación y Horno de Cal que están íntimamente ligadas en su operación, dependen principalmente de la red no prioritaria, no obstante, en pequeña medida tienen acceso por el lado de Caustificación a la red prioritaria.

Impulsión de agua industrial

El agua industrial almacenada es distribuida hacia la red prioritaria mediante las bombas 86-J-901 y 86-J-904, esta última también distribuye el agua hacia la red no prioritaria en conjunto con la bomba 86-J-903. El sistema trabaja con una bomba de alta presión (86-J-908) encargada de levantar la presión a ambas redes.

En el siguiente grafico se puede ver el promedio de agua que diariamente llego a la planta de Celulosa en los meses correspondientes del primer semestre del año 2019:

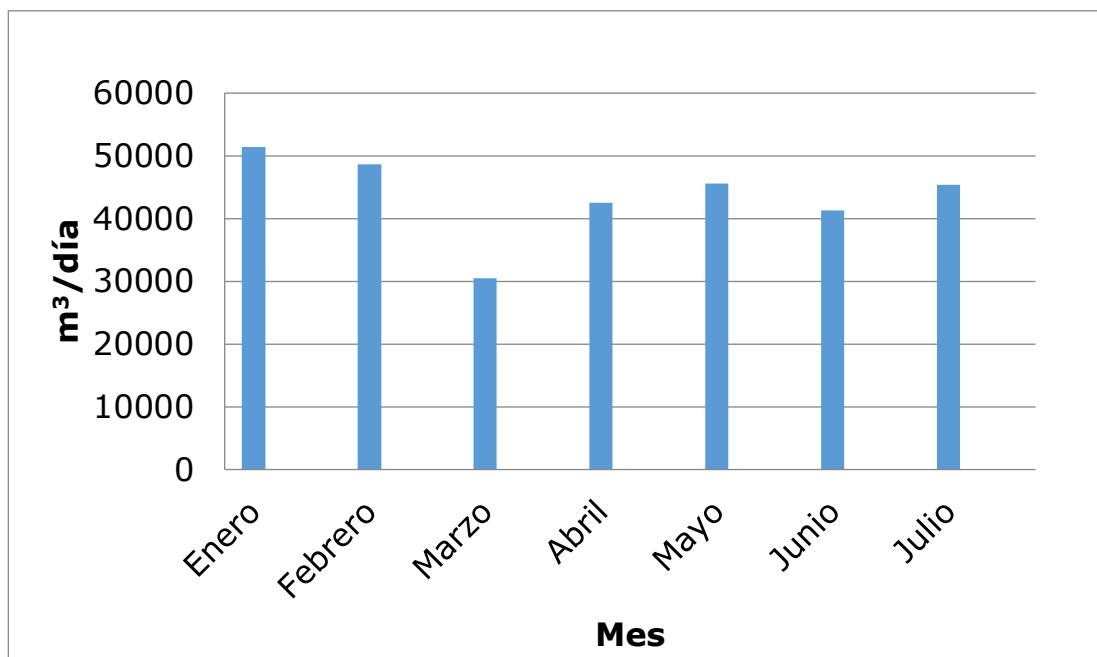


Figura 8.5: Caudal de agua en la Planta Constitución 2019

Uso de agua dentro del área

Con el fin de apoyar al área de efluentes, se utiliza parte del agua fría de las piscinas para enfriar los riles que provienen de cuatro zonas por medio de un sistema de tres intercambiadores de calor (33-E-85/86/87) y dos torres de enfriamiento; Alpina (82-E-10) y Paharpur (82-E-11). Se ha determinado que el rango óptimo de temperatura de los riles enfriados debe estar en 32-42°C.

Riles a enfriar

- **Aguas blancas y condensados:** las aguas blancas provienen del estanque 511-G-15 y los condensados del área de evaporadores provenientes del estanque 63-C-21 son mezclados y enfriados en el intercambiador de calor 33-E-87. El agua de proceso ya utilizada para enfriar se mezcla con las aguas calientes del estanque 33-G-16 y se envía a la torre Alpina para refrigeración y se reincorporan a las

piscinas de almacenamiento, los riles son enviados a la planta de efluentes.

- **Aguas de sello y condensados:** las aguas de sello provenientes de lavado y clasificación del estanque 33-G-61 se mezclan con los condensados del área de evaporadores provenientes del estanque 63-C-21 y enfriados en los intercambiadores 33-E-86/85. El agua de proceso ya utilizada es enviada a la torre de enfriamiento Paharpur y se reincorpora a las piscinas de almacenamiento, los riles son enviados a planta de efluentes.

Adicionalmente se debe mencionar que las piscinas de almacenamiento reciben las aguas que condensaron durante el proceso de generación eléctrica por medio del área de turbogeneradores y que fueron enfriadas en la torre Marley.

En la siguiente figura se puede visualizar el circuito de refrigeración descrito:

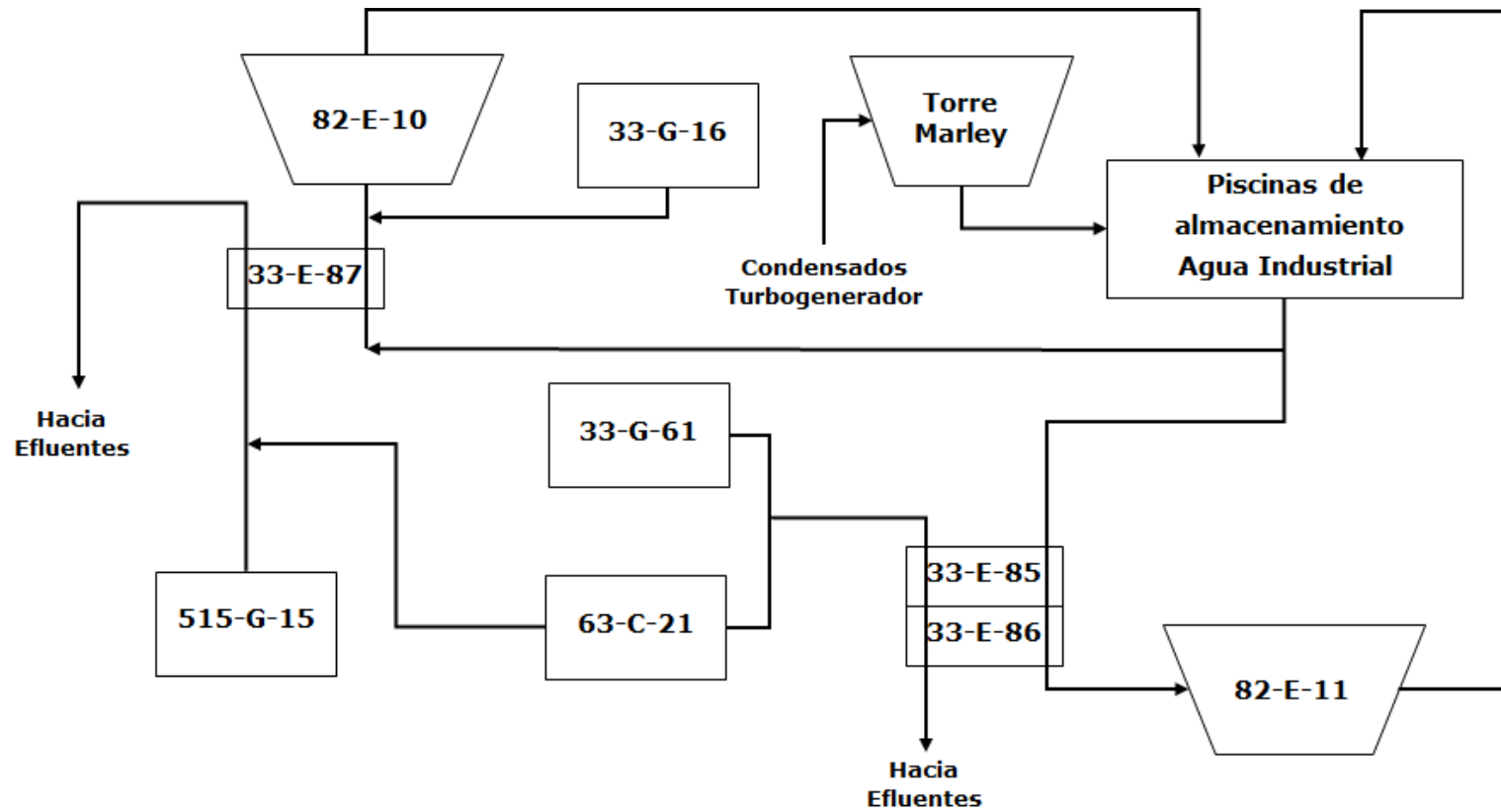


Figura 8.6: Distribución de agua en intercambiadores de calor

8.6.3 Red de Incendio

Descripción

La Planta de celulosa dentro de su plan de seguridad y medio ambiente posee desde el año 2016 una red de agua independiente destinada a ser utilizada en situaciones de amago de incendio. Esta red está formada por un conjunto de tuberías que forman anillos concéntricos conectados entre sí, lo cual permite llegar a todas las áreas de producción que pudiesen verse afectadas por un incidente.

Dentro de las inmediaciones se puede encontrar tomas de agua a ser utilizadas por los carros bomba de la brigada contra incendios, manguerines para controlar focos de incendio locales y sistemas de aspersores para equipos expuestos a sobrecalentamiento o fuentes de propagación tales como ventiladores, correas transportadoras y pilas de almacenamiento de astillas y biomasa. Todos estos sistemas de control de incendio están conectados a la red que, a su vez por medio de una bomba automática se mantiene la presión del agua en 10 bar, cuando la red disminuye su presión significa que la red está siendo utilizada por lo que se acciona la bomba automática y esta impulsa agua desde una piscina de almacenamiento individual y se mantiene en funcionamiento hasta llegar a la presión fijada en el sistema de control automático.

La piscina de almacenamiento de agua para la red de incendio cuenta con un indicador de porcentaje de llenado el cual es registrado en bitácora por el operador de Planta de Agua, el cual también tiene la responsabilidad de mantenerla dentro de su máxima capacidad que es de 3600 m³. Para ello se utiliza agua industrial proveniente de las piscinas de almacenamiento.

Uso del agua dentro del área

- **Uso autorizado:** Dentro de las labores de la brigada de incendio es común que se realicen pruebas a esta red ya sea a las tomas de agua para verificar su correcto funcionamiento, simulacros de incendio o uso directo de esta red como fuente principal de agua para usos variados durante la parada general de planta por ejemplo, la cual se realiza una vez al año por un periodo aproximado de 45 días.
- **Uso no autorizado:** En ciertas ocasiones debido al desconocimiento o a la cercanía de una fuente de agua directa, es que el personal hace uso de los manguerines para el lavado de piso en las áreas, esta acción queda registrada en Planta de Agua debido a que se acciona la bomba

automática, pero debido a que estas fuentes de agua no cuentan con un sistema de monitoreo es que no es posible identificar el lugar en donde se están utilizando y finalmente significan un consumo de agua industrial.

- **Uso no contemplado:** En ocasiones ocurre que debido al sobrecalentamiento o mal funcionamiento de los equipos de detección es que se activan los aspersores, situación que suele detectarse a tiempo y es evaluada por el personal de la brigada contra incendios de la planta de celulosa.
- **Uso justificado:** Es el caso cuando se utiliza la red de incendio para controlar eventos de amago de incendio.

Situación actual de la piscina abastecimiento

Durante los últimos meses ha sido necesario rellenar la piscina de almacén con mayor frecuencia de lo que usualmente es necesario, en las siguientes figuras se puede ver las tendencias registradas del porcentaje de almacén de agua, importante es mencionar que durante el año 2018 solo se cuenta con registro a partir del mes de mayo.

En la figura correspondiente al año 2019, se puede ver que posterior a la parada general de planta realizada en los meses de marzo y abril se empezó a registrar disminuciones sostenidas en el porcentaje de almacén y que en la tabla se puede ver un alza en el consumo de agua debido a la disminución en los niveles de almacén.

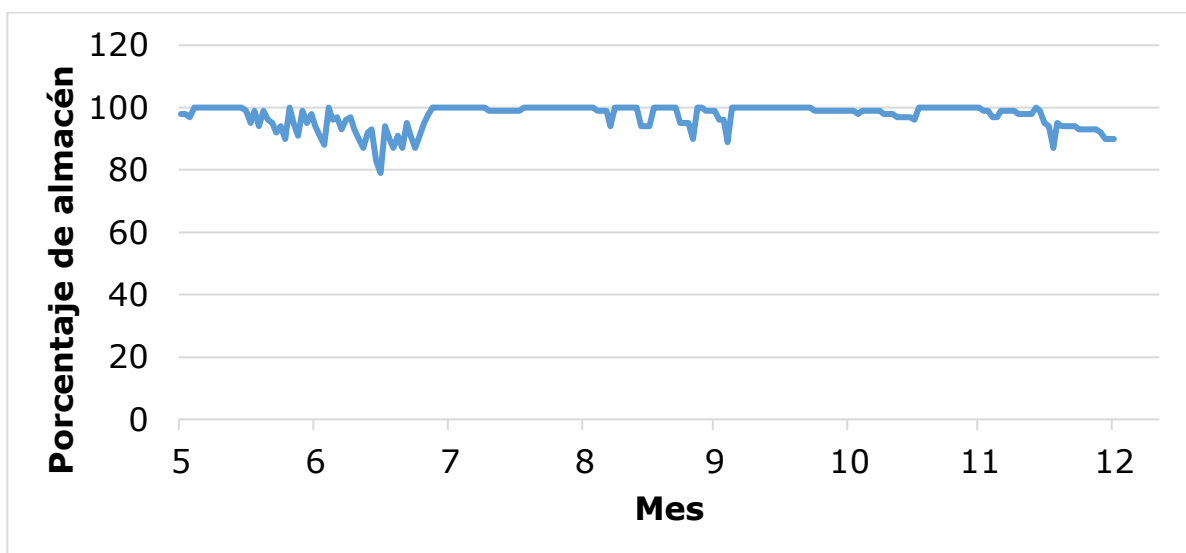


Figura 8.7: Estado de almacén de agua en Red de Incendios año 2018

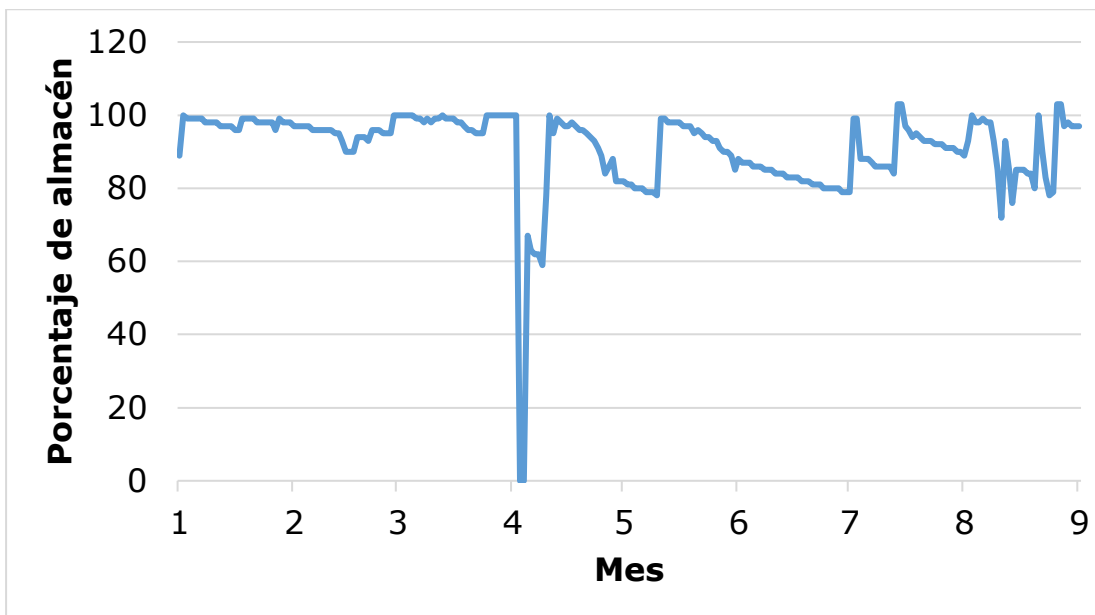


Figura 8.8: Estado de almacén de agua en Red de Incendios año 2019

A partir de las variaciones de porcentaje de almacén se cuantifico el siguiente consumo de agua de la piscina de almacenamiento del año 2019:

Mes	Consumo [m ³]
Enero	612
Febrero	432
Marzo	288
Abril	4212
Mayo	792
Junio	108
Julio	1440
Agosto	3168
Total	11052
Total para operación de la planta	6552

Tabla 8.15: Consumo de agua en Red de Incendios

Este comportamiento se debe a un uso regular de la red de incendio. Se descarta la presencia de una fuga en la red, dado que durante los meses de septiembre y octubre del año 2019 hubo periodos superiores a cinco días en donde el estanque se mantuvo a una capacidad de 100% de almacén.

Si se analiza estos eventos en conjunto con del registro del porcentaje de almacén del año 2019, se puede ver que las variaciones no coinciden con los eventos registrados quedando en evidencia que existen pérdidas de agua vinculadas a usos no autorizados, ya que todo uso que sea justificado, autorizado y no contemplado queda registrado pero no es el caso del uso no autorizado ya que su registro depende de que el operador se encuentre en las cercanías para presenciar la partida automática de la bomba de impulsión a la red.

A continuación, se puede ver el registro del porcentaje de almacén durante las primeras dos semanas del mes de septiembre del año 2019:

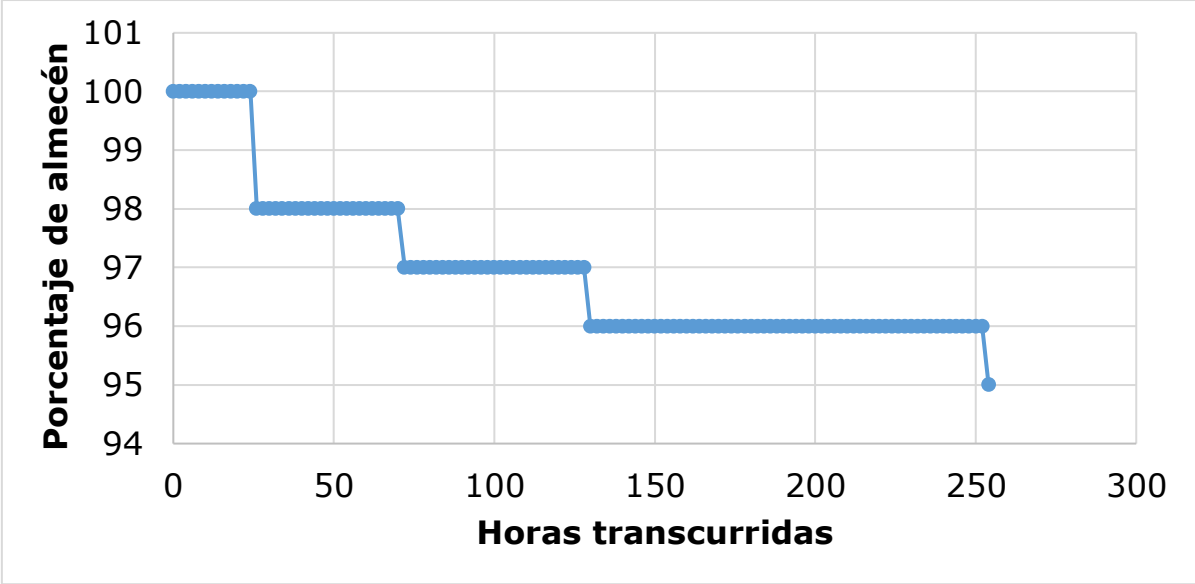


Figura 8.9: Estado de almacén de agua en red de incendio

Durante este periodo en bitácora no se registró uso de ningún tipo de la red de incendios, sin embargo, el nivel del estanque disminuyó lo que indicaría la deficiencia en la detección de usos no autorizados en la planta Constitución.

Registro de eventos de uso de la Red de Incendios

Fecha	Evento	Tipo de Uso
06/03/2019	Prueba de sistema de extinción correas trasportadoras	Uso autorizado
30/03/2019	Activación sistema de emergencia Torre Alpina de enfriamiento	Uso no contemplado
11/04/2019	Prueba de sistema de extinción correas trasportadoras	Uso autorizado
22/04/2019	Activación bomba automática	Uso no autorizado
23/04/2019	Amago de incendio silo de corteza	Uso justificado
27/04/2019	Activación bomba automática	Uso no autorizado
18/05/2019 al 19/05/2019	Inspección de gabinetes de la red de incendio	Uso autorizado
25/05/2019	Activación bomba automática	Uso no autorizado
19/08/2019 al 23/08/2019	Inspección drenaje grifos red de incendio	Uso autorizado
26/08/2019 al 27/08/2019	Pruebas Red de Incendio	Uso autorizado

*Tabla 8.16: Registro del uso de la Red de Incendios durante el año 2019,
Fuente: Brigada de Incendios Arauco*

8.6.4 Área tratamiento de Agua para Calderas

Descripción

Esta área se encarga de abastecer de agua desmineralizada tanto a la caldera recuperadora como a la caldera de poder, para ello el agua abastecida desde Planta de Agua se le debe eliminar todas aquellas impurezas en suspensión que aun pueda contener, y extrayendo además todos aquellos elementos metálicos (calcio y magnesio) y no metálicos (óxido de hierro y sílice) que se encuentren en forma de sales. Esto es necesario para evitar corrosión e incrustación en los equipos en etapas posteriores.

El ciclo de tratamiento se inicia con la llegada de agua decantada del área de planta de agua, el agua industrial recibida en esta primera etapa pasa a través de una de las dos series de filtros de arena, cada serie se compone de tres filtros de arena, pudiendo combinarse el circuito con filtros de distintas series disponiendo de seis filtros en total, cada uno tiene una capacidad de 16,4 m³ y posee un set de válvulas tanto para recircular agua como para efectuar lavados. La operación óptima de los filtros se ve reflejada en la presión de operación de cada uno y en la eficiencia de filtración se ve cuantifica relacionando la turbidez de entrada con la turbidez de salida del filtro. El agua que originalmente venía con una turbidez menor a 2,5 NTU desde planta de agua al pasar por el sistema de filtros de arena alcanza una turbidez menor a 1 NTU.

El agua una vez filtrada es llevada a un estanque de almacén intermedio (84-G-13), en donde se envía a dos líneas de tratamiento:

a) Resinas de intercambio iónico: Por medio de dos líneas de resinas de intercambio iónico, se procede a eliminar impurezas, pasando primero por la resina catiónica, aniónica y luego por un lecho mixto (G14/G15/G16). Al trabajarse con resinas de intercambio iónico es importante que la catiónica se acabe primero ya que cuando esto ocurre la resina empieza a presentar fugas de Na⁺ las cuales reaccionan con el OH⁻ que intercambia la resina aniónica en operación. El NaOH producido genera un aumento en la conductividad y esto permite advertir cuando es necesario regenerar la resina. En caso contrario si se posicionara la resina aniónica primero, al acabarse esta se produciría una fuga de sílice generándose silicato de sodio, el cual es menos conductor que el NaOH, y no sería posible detectar oportunamente la presencia de esta impureza en el agua desmineralizada.

Las secuencias catión A y anión A (cadena A), y catión B y anión B (cadena B) actúan en serie. No obstante, pueden operar de forma cruzada con los lechos mixtos; es decir, cadena A con lecho B o cadena B con lecho A. Así, siempre permanece alguna batería en servicio.

b) Planta de osmosis: Se cuenta con tres sistemas de osmosis, teniéndose dos en operación, esta área al igual que la anterior toma parte del agua tratada del estanque 84-G-13 y provee de agua desmineralizada para el estanque 84-G-17.

En este proceso de tratamiento se controla constantemente la conductividad la cual es menor a 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El agua ya desmineralizada es enviada al estanque general de condensados (84-G-30) para compensar las pérdidas de condensado del área de calderas. Este estanque general recibe condensados desde las áreas de Digestores, Secado, Evaporadores y Turbogenerador 2. De cada una de estas líneas se hace un control automático de conductividad, en caso de que cualquiera de estas líneas presente una conductividad superior a 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se activa una alarma y se deriva automáticamente a desagüe (esto es necesario ya que estos retornos están expuestos a contaminación).

El estanque 84-G-30 alimenta el estanque desgasificador 84-G-31, el cual posee una capacidad de 142 m^3 y opera a una temperatura constante (entre 110 y 120 $^{\circ}\text{C}$). El calentamiento se lleva a cabo con un vapor de 3,5 Bar y esto a su vez permite que el oxígeno disminuya su solubilidad. El oxígeno restante (residual) es eliminado mediante la adición de un producto secuestrante de oxígeno.

Finalmente, el agua es enviada al colector 84-C-32 el cual se encarga de abastecer al área de Caldera Recuperadora y Caldera de Poder. El agua tratada en esta área tiene las siguientes características:

Parámetro	Valor
Turbidez agua filtrada	0 - 1 NTU
Sílice agua desmineralizada	0 - 20 ppb SiO_2
Dureza agua desmineralizada	0,0 ppm CaCO_3
pH agua desmineralizada	6,5 - 7,0
Hierro en agua desmineralizada	< 10 ppb Fe
Turbidez agua alimentación caldera	0,1 - 0,4 NTU
Conductividad Catiónica de agua en Calderas	0 - 15 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Tabla 8.17: Parámetros de calidad de agua

Uso del agua en el área

Mantenimiento del área de Tratamiento de agua de Calderas

Para la mantención de los equipos de filtro de arena y resinas de intercambio iónico, el agua es el principal recurso para la limpieza de estos equipos. A continuación, se detalla las etapas de mantención y la cantidad de agua requerida que no es reutilizada en el proceso:

Lavado de filtros de arena:

1. Pre vaciado: Se detiene la alimentación y se vacía el agua del equipo
2. Soplado: Se inyecta aire a contracorriente para poner en suspensión impurezas retenidas en el filtro
3. Retardo: Se da tiempo para que arena y agua remanente decante
4. Lavado: se utiliza un flujo de 200 m³/h de la línea de alimentación para realizar la limpieza, esto toma alrededor de 30 min

Regeneración de Cadenas de intercambio Iónico consta de las siguientes etapas:

1. Levantamiento: Se realiza una inyección de agua filtrada para la resina catiónica y de agua desmineralizada para la aniónica, esto con el objetivo de descomprimir las resinas

2. Inyección de Regenerante: Para la resina aniónica se hace utilizando NaOH reemplazando los iones retenidos, sílice, sulfatos y cloruros por iones hidroxilos (OH⁻). Para la resina catiónica se utiliza ácido sulfúrico cuya alta concentración desplaza los iones calcio, magnesio, sodio, etc., intercambiados durante la operación, reemplazándolos por un ion hidrógeno (H⁺).

3. Desplazamiento: Una vez que la resina fue regenerada, se inyecta agua al igual que en la etapa de levantamiento, pero con el objetivo de desplazar la sustancia de regenerante hacia la fosa de neutralización.

4. Aclarado: se realiza una inyección final de agua para eliminar cualquier impureza que pudiese haber quedado en la resina.

A continuación, se detalla el consumo de agua para la regeneración de una cadena de intercambio iónico con su correspondiente rutina:

Etapa	Consumo Agua [m³]
Levantamiento Cación	63
Regeneración 1 Cación	40
Regeneración 2 Cación	25
Aclarado Cación	45
Levantamiento Anión	14
Regeneración Anión	8
Desplazamiento Soda	11
Levantamiento 2 Anión	14
Regeneración 2 Anión	8
Desplazamiento 2 Soda	11
Clasificación Resinas	14
Parada	0
Aclarado Anión	40
Agua Total utilizada	293

Tabla 8.18: Uso de agua en procedimiento de mantención

En promedio es necesario realizar 28 veces al mes la regeneración de cadenas de intercambio, mientras que la regeneración del lecho mixto se hace una vez al mes y al tener una rutina más reducida que de las cadenas se estimó un consumo mínimo de 37 m³. Por lo que se cuantifico que para la mantención es necesario en promedio 275 m³ diarios de agua industrial. Cabe destacar que debido a la mezcla de variados químicos dentro del proceso de mantención y al contener casi la totalidad de las impurezas retenidas para producir agua desmineralizada se descarta la posibilidad de reutilizar esta agua.

Rechazos Planta de Osmosis Reversa

Si bien la mantención no requiere de mayor consumo de agua, la operación de esta área genera un flujo de rechazo continuo de al menos 25 m³/h, es decir 600 m³ de agua que diariamente van a efluente.

Recuperación de Condensados

La producción de agua desmineralizada tiene por objetivo reponer las pérdidas producidas en el circuito de vapor/agua a través de toda la planta. De este modo, existe una serie de circuitos de recuperación que transportan y acumulan los condensados en un estanque de almacenamiento general (84-G-30), el cual corresponde al estanque de agua de alimentación a calderas.

Este estanque es alimentado entonces por condensado recuperado y agua desmineralizada de reposición, con la cual también se regula y controla su nivel.

En la planta existen varias fuentes de condensación de los vapores de proceso, cuyos sistemas de recuperación de condensados deberán estar operando al máximo de eficiencia para evitar pérdidas innecesarias. Los retornos de condensados provienen de las siguientes áreas:

Área Digestores

El condensado de esta área es recolectado en el estanque 32-C-81, el cual dispone de un control de nivel; desde aquí, es bombeado al estanque 84-G-30. Las principales fuentes generadoras de condensado en esta área son:

- 10 intercambiadores de calor de los digestores.
- Calentador de agua 32-E-75.
- Condensador de vahos del recolector C-81: 32-E-82.
- Calentadores de licor blanco y licor negro del tank farm.

1. Área Secado

El condensado de esta área es recolectado en el estanque 515-C-11 (provenientes a su vez del 515-C-12 que colecta el condensado del secador, y del 515-C-10 que colecta el condensado de los presecadores), el cual dispone de un control de nivel; y desde aquí es bombeado al estanque 84-G-30.

El recolector 515-C-11 también posee un condensador (515-E-13), el cual condensa y enfría a 100 °C los vahos generados, retornándolos al mismo C-11.

2. Área Calderas

En el caso de la caldera Mixta, el condensado proveniente del calentador de aire primario se envía directamente al estanque 84-G-30.

En el caso de la caldera Recuperadora, el condensado proveniente de los calentadores de aire primario y secundario, se envía al estanque desaireador y al estanque general de condensados 84-G-30, respectivamente.

3. Área Evaporadores

El condensado de vapor vivo de esta área se genera en el efecto I (concentradores falling film) y es recolectado en el recipiente 63-C-35, el cual dispone de un control de nivel. La bomba 63-J-355 envía el condensado directamente al estanque 84-G-30 y 84-G-17.

Eventualmente, el condensado producido en el 63-E-24, producto del vapor sobrante y no utilizado en la Planta, puede ser enviado al estanque 84-G-30.

4. Área Turbogeneradores

El condensado de esta área se genera en el Turbogenerador N°2 (TG2), como consecuencia de la condensación del vapor que se utiliza en la segunda etapa de esta turbina. Su recolección se lleva a efecto en el recipiente inferior del condensador principal E-21 y su envío hacia el estanque 84-G-30 se efectúa mediante las bombas 74-J-211 y/o J-212.

Área Sistema de Gases DNCG

El sistema de tratamiento de gases diluidos (DNCG) contiene baterías de calentamiento en base a vapor de media y baja presión, cuyos condensados pueden ser enviados al desaireador o estanque 84-G-30 dependiendo de su origen:

- Condensados de batería del Vent Gas 64-E-64 van al 84-G-30
- Condensados de las baterías de calentamiento de los gases provenientes de Evaporadores (64-E-74) y Caustificación (64-E-78) van al desaireador

Control de condensados

Actualmente dentro de la operación se considera el monitoreo continuo de los condensados de recuperación de las áreas de: Secado, Digestores, Evaporadores y Turbogenerador y debido a que están expuestos a contaminación es que se derivan a desagüe al superar una conductividad de 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Perdidas de Condensado

Para cuantificar las pérdidas de condensado se realizó un balance global de las áreas de calderas y del colector de agua de la Planta de Desmineralizado:

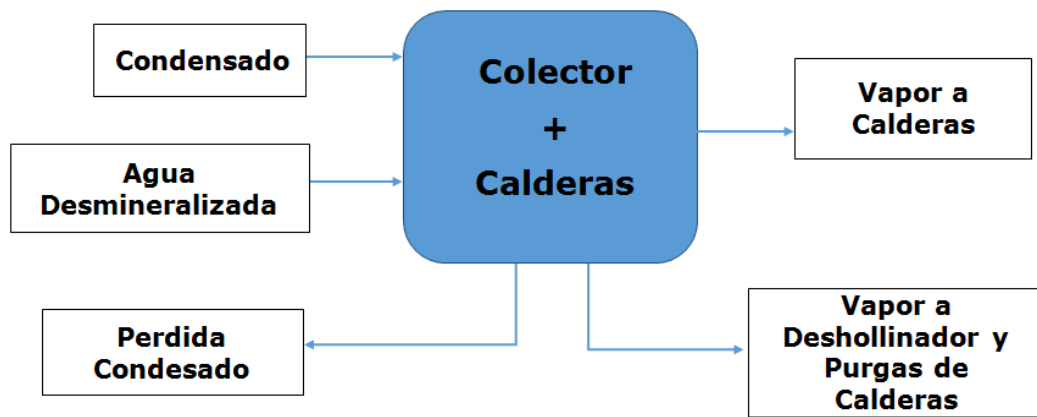


Figura 8.10: Esquema perdidas de condensados

Considerando el balance general del sistema plantado y estableciendo que toda pérdida de condensado ya sea cuantificada (vapor de deshollinador) o no (perdida condensado) debe ser suplida por el flujo de agua de desmineralizado para que a partir de los condensados se genere el vapor de calderas:

$$A. Desmineralizada + Condensados = Perdidas + V. Calderas + V. Deshollinador + Purgas$$

$$Condensados = Vapor de Calderas$$

Quedando las pérdidas de condensado cuantificadas con la siguiente fórmula:

$$Perdidas de condesado = A. Desmineralizada - V. Deshollinador - Purgas$$

Se estima que diariamente 30% del condensado no es recuperado, debido a equipos intercambio de calor que debido a su ubicación no es viable la recuperación como también pérdidas asociadas al rechazo de los condensados de retorno que presentan contaminación.

8.6.5 Área de Caldera Recuperadora

Descripción

El circuito de agua principal de esta área se inicia con la recepción de agua ya tratada desde el colector 84-C-32 del área de Desmineralizado esta pasa dos economizadores, los cuales tienen el objetivo de aprovechar el calor de los gases de combustión de salida de la caldera y así poder precalentar el agua de alimentación, primero pasa a un economizador de baja temperatura (280 °C) y luego a uno de alta temperatura (395°C) para luego entrar al sistema de domos superior e inferior que separa las fases del vapor final que se genera, en la sección radiante se hace la mayor parte de intercambio de calor. En la siguiente figura se puede ver el esquema simplificado del circuito de agua dentro de una caldera:

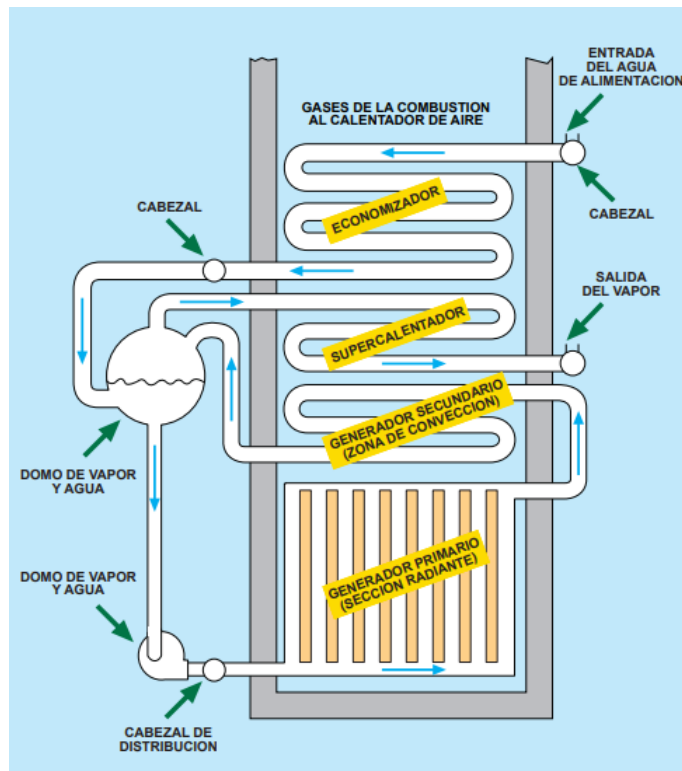


Figura 8.11: Esquema de funcionamiento de caldera recuperadora [57]

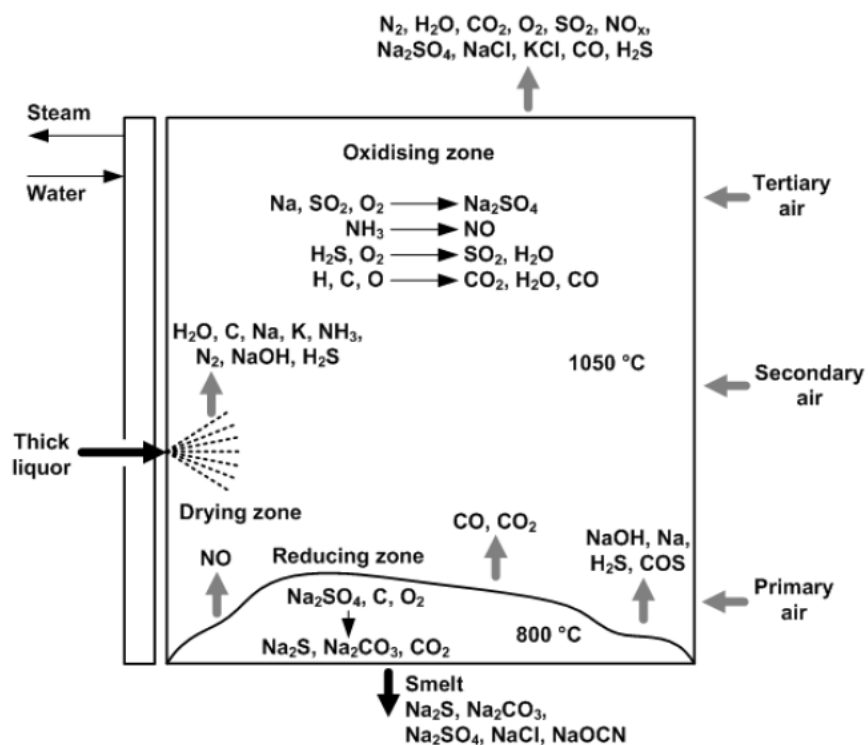


Figura 8.12: Reacciones químicas en una caldera recuperadora [58]

El vapor sobrecalentado (448°C) generado por la caldera recuperadora es enviado en su mayoría hacia el área de Turbogeneradores y otra parte hacia los equipos de deshollinadores que permiten mantener la limpieza dentro de la misma caldera, adicionalmente en el domo inferior tiene una purga continua de agua que arrastra impurezas que se acumulan en el circuito, este flujo se recupera hacia el área de Evaporadores en el estanque de aguas calientes 63-G-19.

Uso del agua en el área

Calentamiento de gases: Por otro lado, con el fin de quemar los gases DNCG provenientes de las áreas: Evaporadores, Digestores, Lavado y Caustificación; en conjunto con el aire de alimentación para la combustión en la caldera recuperadora, es necesario que el flujo de aire se lleve a una temperatura promedio de 150 °C, esto se logra por medio de intercambiadores de calor que utilizan vapor de 3,5 bar y 11 bar. El aire es de gran importancia dentro de la caldera recuperadora ya que permite que ocurran las reacciones que se muestran en la figura anterior. Los condensados utilizados por los intercambiadores son recuperados hacia el área de Desmineralizado.

Licor Negro: Para poder quemar el licor negro en la caldera recuperadora, es necesario primero llevarlo a una temperatura superior a 120 °C, esto se logra por medio de dos intercambiadores de calor que utilizan vapor, con la

misma dinámica que en el calentamiento de gases. Los condensados utilizados por los intercambiadores son recuperados hacia el área de Desmineralizado.

Refrigeración de Canaletas de fundido: Una vez que el licor negro es quemado en la caldera, se genera ceniza la cual posee compuestos valiosos tales como: Na_2CO_3 , Na_2S y Na_2SO_4 los cuales se recuperan en el área de Caustificación para producir licor blanco. Este material fundido, como se muestra en la figura anterior, puede llegar a temperaturas cercanas a los $1000\text{ }^\circ\text{C}$ dentro de la caldera recuperadora, es por esto por lo que es necesario que el material fundido pase por un sistema de refrigeración de canaletas, una vez que el material fundido disminuye su temperatura es posible llevarlo al estanque disolvedor 64-G-19, en donde la ceniza se mezcla con agua y con licor blanco débil formando lo que es el licor verde con que se abastece el área de Caustificación.

Aguas de Sello y Refrigeración: Dentro de la operación existen bombas que utilizan sello de empaquetadura y que debido a las temperaturas que alcanzan los fluidos que son impulsados durante la operación, requieren de una fuente de agua de refrigeración.

8.6.6 Área Caldera de Poder

Descripción

La función principal de una Caldera de Poder es generar vapor al igual que en la caldera recuperadora, sin embargo, se utiliza materia orgánica (biomasa y lodos desde Planta Tratamiento de Efluentes) y combustible líquido (petróleo). A diferencia de la caldera recuperadora, el agua desmineralizada llega directo a un domo de recepción en donde empieza la transferencia de calor en la caldera.

8.6.7 Área Generación eléctrica

Descripción

Esta área cumple la función de utilizar el vapor de alta presión generado por las calderas para producir energía eléctrica y entregar vapor de baja presión al proceso de la Planta Constitución.

El área cuenta con tres turbogeneradores de los cuales dos permanecen en servicio, produciendo una cantidad promedio de 722,2 kWh/adt de electricidad.

El sistema a grandes rasgos, consta de:

Turbina a Condensación: Convierte la energía térmica del vapor de Alta Presión en energía cinética rotacional y que se transfiere al Generador para producir energía eléctrica.

Generador: Recibe la energía cinética rotacional desde la Turbina y la transforma en energía eléctrica para consumo de la planta.

Unidad de Condensación: Condensa el vapor que descarga la Turbina a condensación.

Torre Marley: Enfría el condensado generado por el área y lo recupera hacia las piscinas de almacenamiento de planta de agua.

Uso de agua en el área

Control de Reductor

El sistema de vapor consta de tres colectores:

- Alta presión 74-C-20 que almacena vapor a 60 bar
- Media presión 74-C-30 que almacena vapor a 11 bar
- Baja presión 74-C-40 que almacena vapor a 3,7 bar

Como se muestra en la siguiente figura, el control de la presión siempre es hacia el colector de menor presión, el problema que actualmente se genera en el área es que colector de baja presión al no tener otro equipo hacia el cual distribuir la presión hace necesario recurrir a una válvula de purga que lleva el vapor hacia el condensador de mezcla 74-E-50, el cual utiliza agua industrial para condensar el vapor de purga. Esta situación en general se da durante las partidas de operación en el área y eventos aislados.

El flujo de agua utilizado finalmente va a una cámara de recepción y se mezcla con los riles del área de planta térmica y en conjunto se envían hacia la planta de tratamiento de efluentes pese a que el flujo de enfriador 74-E-50 no está expuesto a fuentes de contaminación

Esta válvula de agua industrial también es utilizada para disminuir el efecto de desviaciones en la operación en la planta de efluente debido a los siguientes eventos:

- Aumento de temperatura de riles
- Aumento de conductividad de riles
- Aumento de color en efluentes

El aumento de temperatura de los riles es la principal razón por la que se hace usos de este flujo de agua y se da en orden de frecuencia en las siguientes áreas:

- Área de Evaporadores
- Área de Secado
- Área de Digestores

La tubería de agua industrial que llega a este enfriador tiene un diámetro aproximado de 20 pulgadas y dentro del equipo se reduce a 8 pulgadas. Se estima en base a las bitácoras de operación en donde se registra el flujo de llegada a la planta de tratamiento de efluentes que una abertura de esta válvula de 50% significa un aumento de 100 l/s en el flujo del ril.

El consumo de agua diario dependerá de la duración del evento y del porcentaje de abertura de válvula, pero si se considera que durante un día como mínimo se realiza una rutina de apertura de válvula de duración de 2 horas por cada porcentaje se tiene un consumo de agua de 1296 m³/día, lo cual es equivalente a un flujo continuo de 54 m³/h que va hacia el área de efluentes solo para controlar desviaciones de los parámetros de los riles.

Esto significa finalmente que el operador de planta de agua debe aumentar el flujo de agua cruda hacia la planta Constitución con el fin de mantener el nivel de las piscinas de almacenamiento de agua industrial.

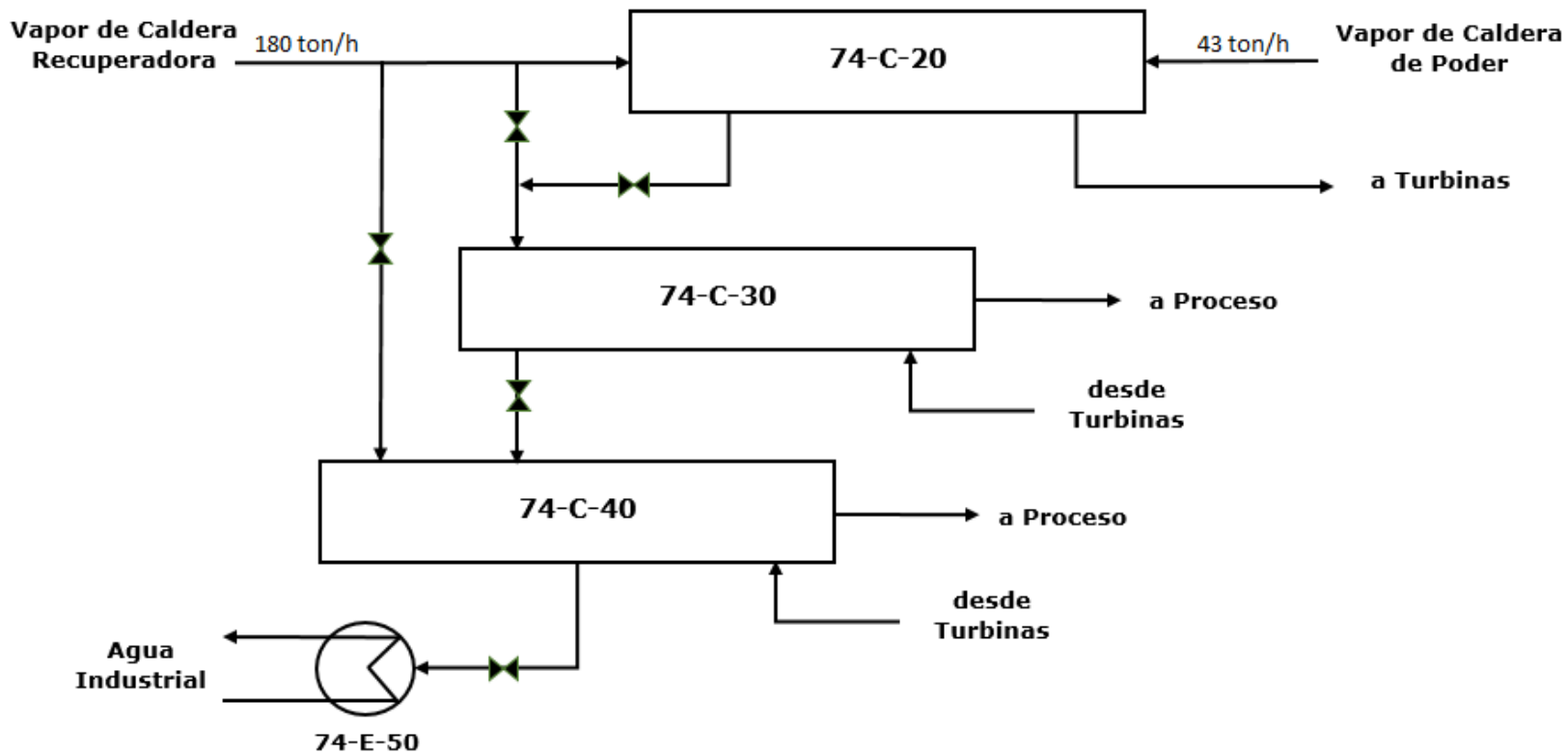


Figura 8.13: Circuito de agua en colectores

8.6.8 Área Preparación Maderas

Descripción

Esta área cumple con el objetivo de abastecer de astillas al área de Digestores en donde la madera se cuece y se produce finalmente la celulosa. Para ello el área de preparación Madera cuenta con dos líneas de producción:

- Picado interno
- Transporte y Clasificación de astillas externas

La línea de producción se inicia con la recepción de la madera, esta es llevada a canchas de almacenamiento con el fin de mantener un stock constante para el área de Preparación Maderas, los troncos a utilizar son llevados a descortezadores en donde la corteza es llevada a una pila de biomasa mientras que los troncos van a un astillado el cual tritura la madera, por medio de un tornillo las astillas se llevan a un harnero el cual clasifica las astillas por tamaño, el material fino es derivado a la pila de biomasa mientras que las astillas con mayor tamaño son llevadas a un rastillador y reincorporadas al harnero. Las astillas una vez que pasan por este proceso de clasificación son llevadas pilas de almacenamiento por medio de correas transportadoras y en el lugar son mezcladas con astillas de origen externo. La formación de la pila de consumo está supeditada a la producción de las distintas calidades de celulosa de acuerdo con los siguientes aportes de astilla externa y al proceso que se muestra en la tabla 8.20.

Calidad	Aporte de Astilla externa
X	Máximo 40%
L	50%
L Especial	Mínimo 60%

Tabla 8.19: Tipos de calidad de celulosa producida

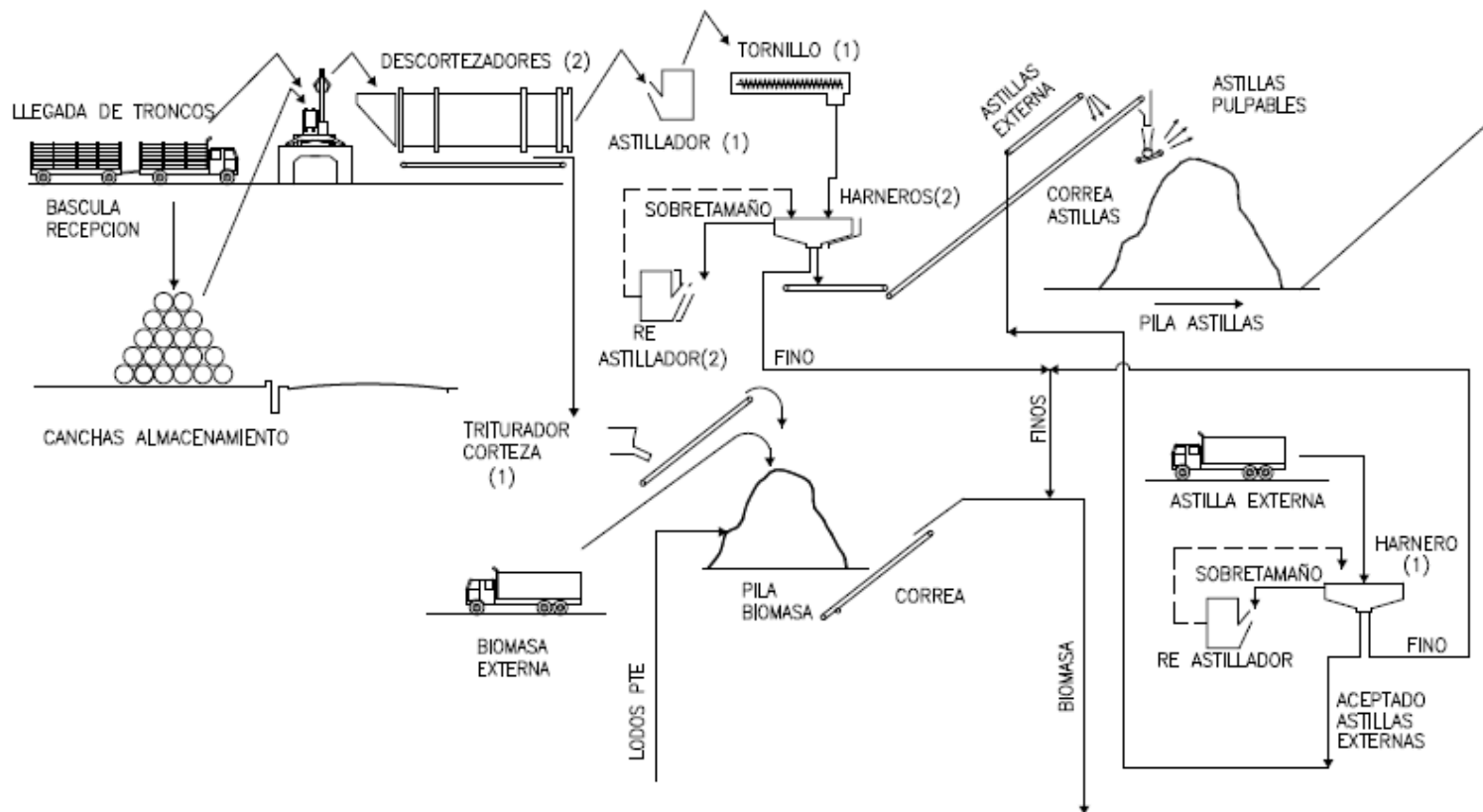


Figura 8.14: Proceso de producción de astillas

8.6.9 Área de Digestores

Descripción

Esta área dispone de diez digestores discontinuos con una capacidad de 165 m³ cada uno, con los cuales se produce pulpa de celulosa en condiciones de calidad y cantidad especificadas, utilizando madera de pinos insignes y reactivos de cocción.

En el interior de los Digestores se realiza la reacción de cocción de astillas de madera, que es la disolución de la lignina bajo la acción de los reactivos químicos NaOH y Na₂S, llamado Licor Blanco, y temperatura, para separar las fibras de celulosa de los otros elementos constitutivos de la madera.

La madera, que previamente ha sido descortezada, astillada y clasificada en el área de Preparación de Madera, se alimenta a los Digestores por medio de correas transportadoras en la etapa de carga de Astillas. Durante el proceso de carga, se mide en forma continua el peso de las astillas. A su vez, las astillas van siendo compactadas en el digestor con vapor de 3,5 bar; esta compactación comienza una vez cargada las astillas. Luego de esto se empieza a cargar el licor blanco, primero una capa fría (Cool Pad) para evitar cambios de temperatura en etapas posteriores. Posterior a esto, se inicia el llenado de licores con temperatura, lo cual consta de dos etapas: la carga de Licor Tibio (Warm Fill) y la carga de Licor Caliente (Hot fill). Finalizada esta etapa el licor se empieza a recircular, pasando por un intercambiador de calor asociado al digestor en servicio, esto con el fin de precipitar el carbonato de calcio soluble presente en la madera y para también para alcanzar la temperatura deseada para iniciar la cocción. Una vez que el digestor está cargado de astillas y licores se crea una cámara de desgase mediante la extracción de licor, luego de lo cual se inicia la etapa de Cocción. En esta etapa, se recircula el licor del digestor a través de un intercambiador de calor con vapor de 11 bar, el cual permite mantener constante la temperatura de cocción. Una vez alcanzada esta temperatura, se detiene la alimentación de vapor al intercambiador y el digestor continúa recirculando hasta alcanzar duración objetivo de la cocción, momento en el cual finaliza la Cocción y comienza la etapa de Desplazamiento, en donde el licor de cocción se desplaza con licor negro proveniente de lavado y luego comienza la etapa en donde la fibra es enviada por bombeo hacia los estanques de descarga.

Los condensados generados por los intercambiadores (10) de calor son recuperados en el colector 32-C-81, cada uno tiene un medidor de

conductividad que, en caso de contaminación en el circuito, se deriva a efluentes. En el proceso de recuperación de los condensados también se cuenta con el intercambiador de calor 32-E-82 el cual condensa los vahos y los retorna al mismo estanque, mientras que el agua utilizada en este intercambiador de calor es recuperada en el circuito de aguas calientes del área.

Por otro lado, el vapor de 11 bares es también utilizado para presurizar el licor blanco de alimentación de digestores en el acumulador 32-C-51 y también el licor negro tibio de los acumuladores 32-C-52/53 y licor negro caliente de los acumuladores 32-C-54/55. También este vapor es utilizado en los intercambiadores de calor asociados al acumulador de licor blanco (E-58/59) y del licor negro caliente (E-542/543)

Sistema de aguas calientes

El área de digestores además de consumir agua industrial, recibe una cantidad no menor de agua tibia proveniente de los condensados limpios del área de Evaporadores, alrededor de la mitad de esta agua es enviada hacia planta de agua en el estanque 33-G-16 en donde se recupera hacia planta de agua, mientras que la otra parte es enviada al estanque 32-G-71 que por medio del intercambio de calor en los equipos 32-E-64/65/66 y 33-E-21.2 se calienta esta agua y llega al estanque 32-G-74 el cual finalmente abastece de agua caliente a las áreas de Evaporadores, Secado y Lavado y Clasificación.

Uso de agua en el área

En el área de digestores el agua es utilizada en la inyección de agua fría en el sistema de aguas calientes para regular la temperatura y nivel de almacén de los estanques de agua 32-G-74 y 63-G-19. También se alimenta agua para las bombas que trabajan con refrigeración y sello en el área del patio de digestores y estanques.

Debido a la cantidad de digestores, esta área una de las que más está expuesta al derrame de licores por lo que es necesario diariamente hacer aseo con una manguera de alta presión, para lo cual se utiliza agua de calidad industrial.

Dada la gran cantidad de bombas con refrigeración/sello en el área de patio de digestores y de estanques es que se cuenta con bombas que impulsan agua industrial para la refrigeración de las demás bombas, a diferencia de otras áreas que con la presión de la línea de agua industrial realizan esta labor. Se efectuó una medición por medio de ultrasonido de las líneas de las bombas 32-J-36/37/38/39 y se cuantificó un flujo de 23,3 m³/h de agua de refrigeración que una vez utilizado por estas bombas es dispuesto a desagüe hacia la planta de tratamiento de efluentes.

A continuación, se presenta el circuito de agua en donde se ve la distribución de en el área, importante mencionar que el consumo promedio es de 268 m³/h.

8.6.10 Área de Lavado y Clasificación

Descripción

En el área de Lavado la pulpa proveniente de la etapa de cocción es depositada en los estanques de descarga y pasa por dos separadores de nudos. Una vez que la pulpa aceptada es enviada a los filtros lavadores: 33-Q-20/22/24/26/264, en donde se elimina los rastros de licor negro de la pulpa.

La generación de riles en el área de Lavado se origina en el agua de refrigeración de las bombas, al agua utilizada en las labores de aseo y de modo ocasional a purgas o fugas anormales a la operación. Estos efluentes se dirigen por medio del desagüe hacia el pozo de recuperación, en donde si la conductividad es menor a $1.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ es enviado directamente a la PTE; en caso contrario (conductividad $\geq 1.000 \mu\text{S}/\text{cm}$), las compuertas se cierran y el efluente (principalmente agua) es enviado por medio de la bomba 33-J-911 a la torre Spill 33-G-69 en donde es reintegrado al proceso de lavado.

Clasificación por otro lado, se encarga de obtener un producto uniformemente limpio, retirando partículas de madera no cocida y otros elementos extraños.

El proceso de clasificación se inicia alimentando pulpa desde el estanque de pasta no clasificada (33-G-28) a seis Clasificadores Presurizados (cuatro clasificadores primarios, uno secundario y uno terciario), desde los cuales la pulpa limpia se envía a un Filtro Espesador (33-Q-60) para posteriormente ser almacenada en una Torre de Alta Densidad (33-Q-65).

El principal efluente del área de clasificación se genera en el estanque 33-G-61 (filtrado desde 33-Q-60) y se dirigen a la Planta de Tratamiento de Efluentes, pasando previamente por un sistema de enfriamiento que utiliza intercambiadores de placas (33-E-85, 33-E-86 y/o 33-E-87). Normalmente el efluente en este estanque llega a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ y se disminuye a niveles aceptables de $38 - 41 \text{ }^\circ\text{C}$. Por otro lado, el agua de refrigeración utilizada en estos intercambiadores es recuperada a las piscinas de distribución de agua industrial.

8.6.11 Área de Secado

Descripción

El área de secado cumple el objetivo de recuperar la pulpa obtenida del proceso de cocción en el área de digestores, para ello la pasta se lleva en primera instancia a las cubas maquinas 511-G-10 y 511-G-11 en donde se almacena la pasta de celulosa que se va procesar, esta línea de pasta se le incorpora agua proveniente del estanque 511-G-14 el que a su vez recibe agua caliente del estanque 32-G-74, esto con el fin de preparar la pasta de celulosa la cual debe alcanzar el 1% de consistencia para ser llevada a una cuba de alimentación la cual por diferencia de nivel provee de pasta al equipo Fourdrinier, en donde se distribuye y se forma la hoja sobre una tela sinfín en movimiento, que retiene las fibras y permite el drenado del agua mediante los distintos elementos de drenaje existentes (cajas de gravedad, cajas de bajo vacío, cajas de alto vacío y cilindro aspirante. La hoja que sale del Fourdrinier pasa por etapas sucesivas de prensado para extraerle el máximo de agua posible en esta sección. Inicialmente dos prensados consecutivos, primera y segunda prensa; enseguida, la hoja se calienta en pre secadores para darle el último prensado en la tercera prensa, antes de entrar al secador.

En el secador, la hoja se seca por insuflación de aire caliente mediante ventiladores ubicados perpendicularmente al sentido de la hoja; de este modo, la hoja es soportada por el aire que sale por las cajas de las bandejas. Terminada la etapa de secado, existe una máquina cortadora y formadora de fardos, que forma ocho fardos.

Posteriormente, los fardos pasan a la línea de embalaje, donde son prensados, cubiertos con embalaje de celulosa, amarrados y claramente identificados para finalmente ser almacenados en la bodega de producto terminado.

Uso de agua en el área

Gran parte del agua caliente en el área de secado es utilizada en un circuito cerrado para lo que es la etapa de preparación de la pasta de celulosa la cual luego es drenada y reutilizada en el sistema de estanques de almacén lo que permite el mantener constante la consistencia de la pasta de celulosa a la entrada del Fourdrinier, es natural la generación de efluente en esta área dado que es necesario que se vaya renovando el agua utilizada en el circuito por medio de inyecciones de agua industrial y agua caliente en los estanques de almacén.

Otros usos de agua se ven reflejados en la utilización de vapor de media y baja presión para lo que la operación del secador, en intercambiadores de calor utilizados en el área y en el acondicionamiento de la sala de secado en donde parte de este vapor recuperado como condensado limpio.

A continuación, se presenta el esquema de distribución de agua caliente y tibia en el área de Secado:

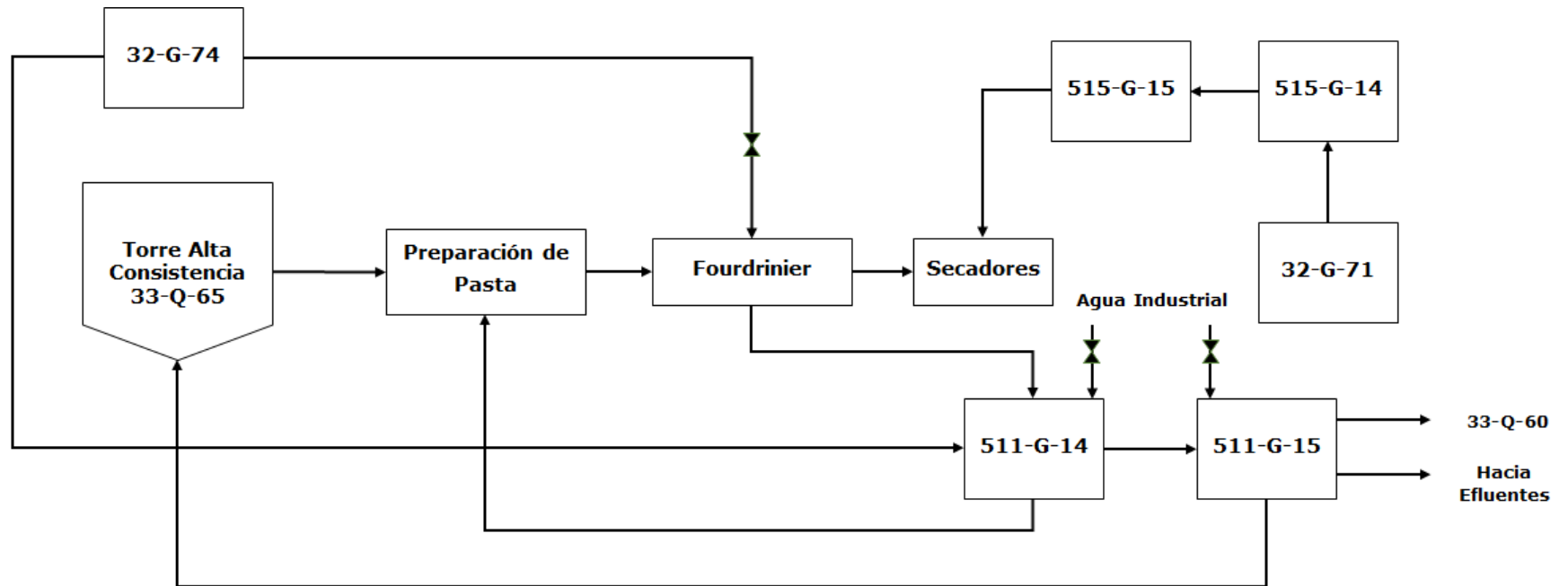


Figura 8.15: Distribución de agua en área de Secado

En la siguiente tabla se puede ver los parámetros del agua blanca generada por esta área que en su mayoría provienen del estanque 511-G-15:

Parámetro	Valor
pH	5,4 pH
Conductividad	1595 μ S/cm
DQO Total	290 ppm
Temperatura	30 °C
Turbidez	51,5 NTU
Color verdadero	70,8 UPC
Fenol	0,07 ppm
Fosforo total	0,2 ppm
Nitrógeno Amoniacal	0,19 ppm

Tabla 8.20: Parámetros de calidad de agua blanca, Octubre 2019

8.6.12 Área de Evaporadores

Descripción

El ciclo se inicia con la recepción del licor negro débil con una concentración de 15-19%, a través de un mezclador se le agrega licor grueso para llevarlo a estanques de almacén de 18-28 % de concentración, luego se alimenta a tres evaporadores en serie (4°, 5° y 6° efecto), lo que permite aumentar la concentración de sólidos a 27-37%, luego es almacenado en estanques de licor negro intermedio para luego pasar a cinco pre calentadores (E-38A, E-38, E-58, E-37, E-52) que permiten aumentar la temperatura del licor para llevarlo al desactivador de calcio. El licor saliente al 2° efecto (A y/o B) y luego al 3° efecto (A y/o B) lo cual permite llevarlo a una concentración de 38-50 % de sólidos, él licor grueso es almacenado en el estanque 63-G-15.

Finalmente, el licor grueso se lleva dos pre calentadores E-36 y E-51 y es introducido al 1° efecto el cual consiste en cuatro concentradores que operan en serie y permite obtener un licor concentrado de 62 – 74 % de sólidos que es el producto final que es enviado a la caldera recuperadora.

Flujo de Vapor y Vahos

El vapor utilizado en el primer efecto tiene una presión de 3.7 kg/cm² y un flujo promedio de 35 ton/h, este es inyectado a cada uno de los concentradores, mientras que los vahos generados alimentan al 2° efecto y a la columna de agotamiento de condensados (stripper). Los vahos salen del 2° efecto son reutilizados para la transferencia de calor sucesivamente hasta

llegar al 6° efecto. Los vahos ya utilizados entran los condensadores primarios E-40A y E-40 y secundario E-41.

Flujo de Condensados Limpios

El condensado limpio de vapor vivo proveniente de los cuatro concentradores del 1° efecto es recolectado en recipientes individuales (C-231, C-232, C-233, C-234) luego se lleva a los estanques de expansión C-34 y C-35 en donde finalmente son retornados al área de desmineralizado en el estanque 84-G-30.

Flujos de Condensados Combinados

Los vahos condensados de los otros evaporadores son recolectados sucesivamente en estanques de expansión hasta ser llevados a uno de los siguientes destinos dependiendo de la conductividad:

- 63-C-21 si la conductividad esta en 0-400 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- 63-A-31 si la conductividad esta en 400-700 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- 72-G-10 si la conductividad es $>700 \mu\text{S}/\text{cm}$

8.6.13 Área Horno de Cal y Caustificación

Descripción

El área de Caustificación y Horno de Cal son áreas que están íntimamente relacionadas en su operación, debido a que el lodo blanco residual del proceso de Caustificación es alimentado al horno de cal y así producir el reactivo principal del proceso de Caustificación que es el la Cal viva (CaO) y gracias a esto es que es posible proveer de licor blanco a los

Se efectuó mediciones de calidad de esta agua y se obtuvo los siguientes resultados con respecto al flujo total de agua de refrigeración el cual es enviado a la planta de tratamiento de efluentes a pesar de estar dentro de los parámetros de calidad de agua industrial:

Uso de agua en el área

- **Separador y acumulador de gotas:** estos equipos están asociados a la combustión de los gases SOG y CNCG, permiten la separación de líquidos condensables arrastrados por estos gases y que por medio de la inyección de agua y de vapor de baja presión es que se desplazan desde los acumuladores hacia el equipo Stripper del área de evaporadores.

- **Calentador combustible:** por medio de la inyección de vapor de 11 bar se calienta el combustible que se alimenta al quemador del horno, alcanzando una temperatura de 130 °C, debido a lo aislado que está el intercambiador y al bajo flujo de vapor utilizado es que el condensado generado pasa a una trampa de vapor y no se recupera.
- **Correa transportadora 65-P-11:** con el fin de mantener el funcionamiento de la correa transportadora que alimenta lodo blanco y piedra caliza hacia el horno de cal es que es necesario un flujo de agua que impida que se sobrecalienten los polines, lo cual permite la operación continua del horno y representa un consumo de agua de 2 m³/h.

8.6.14 Área Planta de Efluentes

Descripción

Tratamiento Primario

El objetivo del tratamiento primario es la separación de sólidos. Aquí llegan las aguas de lavado de rollizo del área Preparación Madera y los lodos de Planta de Agua que se originan por la purga de los decantadores. También las instalaciones tienen la capacidad de recibir las aguas del riego de canchas del área de Preparación Maderas, sin embargo, esta labor no se efectúa hace más de un año.

El circuito de agua se inicia con la recepción de los efluentes a la cámara 85-A-18, lo cual permite la homogenización del efluente, una vez ahí se envían al clarificador primario por medio de las bombas 85-J-181/182, adicionalmente la cámara tiene la opción de derivar el efluente directo a la etapa de Neutralización y también de recibir agua ya clarificada en caso de ser requerida en la operación.

En el Clarificador se realiza el proceso de separación sólido-líquido por medio de la acción de la gravedad, la cual permite la concentración de sólidos en el fondo y en la parte superior fluye el agua clarificada por rebose del estanque. El clarificador tiene una capacidad de 1662 m³. El agua ya tratada es enviada a la cámara 85-A-24 la cual puede enviar flujo hacia el riego de canchas, a la cámara 85-A-18 o hacia Neutralización que es hacia donde se lleva la totalidad de agua tratada en la actualidad, por otro lado, los lodos separados en el Clarificador son enviados al tanque de mezcla de lodos para su posterior desaguado por medio de las bombas J-232/233.

Adicionalmente, se incorpora productos desinfectantes para control de coliformes y polímero floculante para facilitar operación del equipo de separación.

Neutralización

Esta etapa se inicia con la recepción del efluente proveniente de la Planta de celulosa, el cual puede ser recibido en la laguna de derrames en caso de una desviación en la operación normal de alguna de las áreas de producción (producto de un derrame no controlado) o sino a la cámara de Neutralización, la cual tiene una capacidad de 200 m³. La cámara cuenta con dos estanques de control de pH, los cuales dosifican ácido sulfúrico e hidróxido de sodio según corresponda. La cámara de neutralización además recibe el efluente del tratamiento primario y el agua recuperada del filtrado de la prensa de lodos.

En la siguiente figura se puede visualizar el proceso:

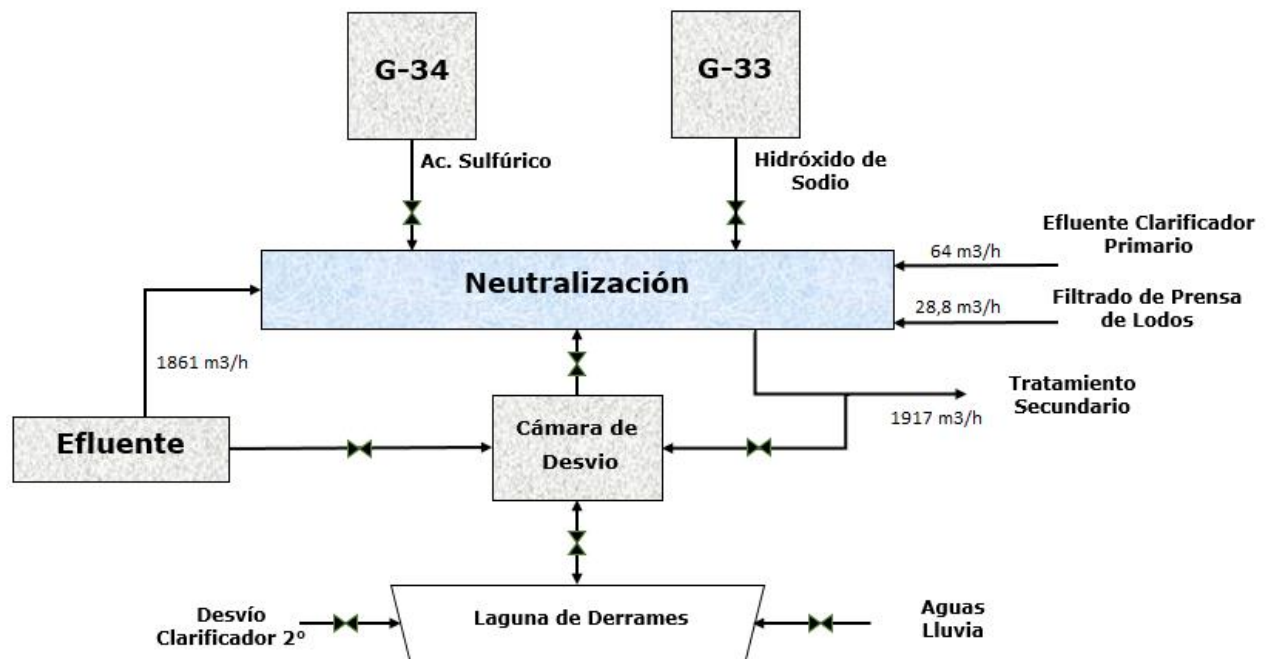


Figura 8.16: Distribución de agua en etapa de Neutralización

Tratamiento Secundario

Una vez neutralizado el efluente, este es llevado al reactor biológico, el cual cumple la función de reducir la materia orgánica presente en el efluente de la Planta de celulosa a través de un sistema de lodos activados. En este

sistema los microorganismos degradan la materia orgánica en un ambiente aeróbico. El reactor biológico tiene una capacidad de 20700 m³.

Posteriormente, el efluente del reactor biológico es conducido gravitacionalmente al Clarificador Secundario, donde se produce la separación de los sólidos (lodo) de la fracción líquida por sedimentación, el equipo tiene una capacidad de 16342 m³.

El líquido clarificado correspondiente al efluente tratado en la PTE que se descarga al mar fuera de la zona de protección del litoral a través de un emisario y un difusor sumergido, el efluente tratado en esta etapa final tiene las siguientes características:

Parámetro	Valor
Turbidez	3,7 NTU
Conductividad	960 μ S/cm
pH	7,6 pH
Color Verdadero	263 UPC
Color Aparente	290 UPC
DQO Total	109 ppm
Nitrógeno	0,22 ppm
Fosforo	0,20 ppm

Tabla 8.21: Parámetros de calidad de agua efluentes

El proceso de tratamiento secundario se puede visualizar en la siguiente figura:

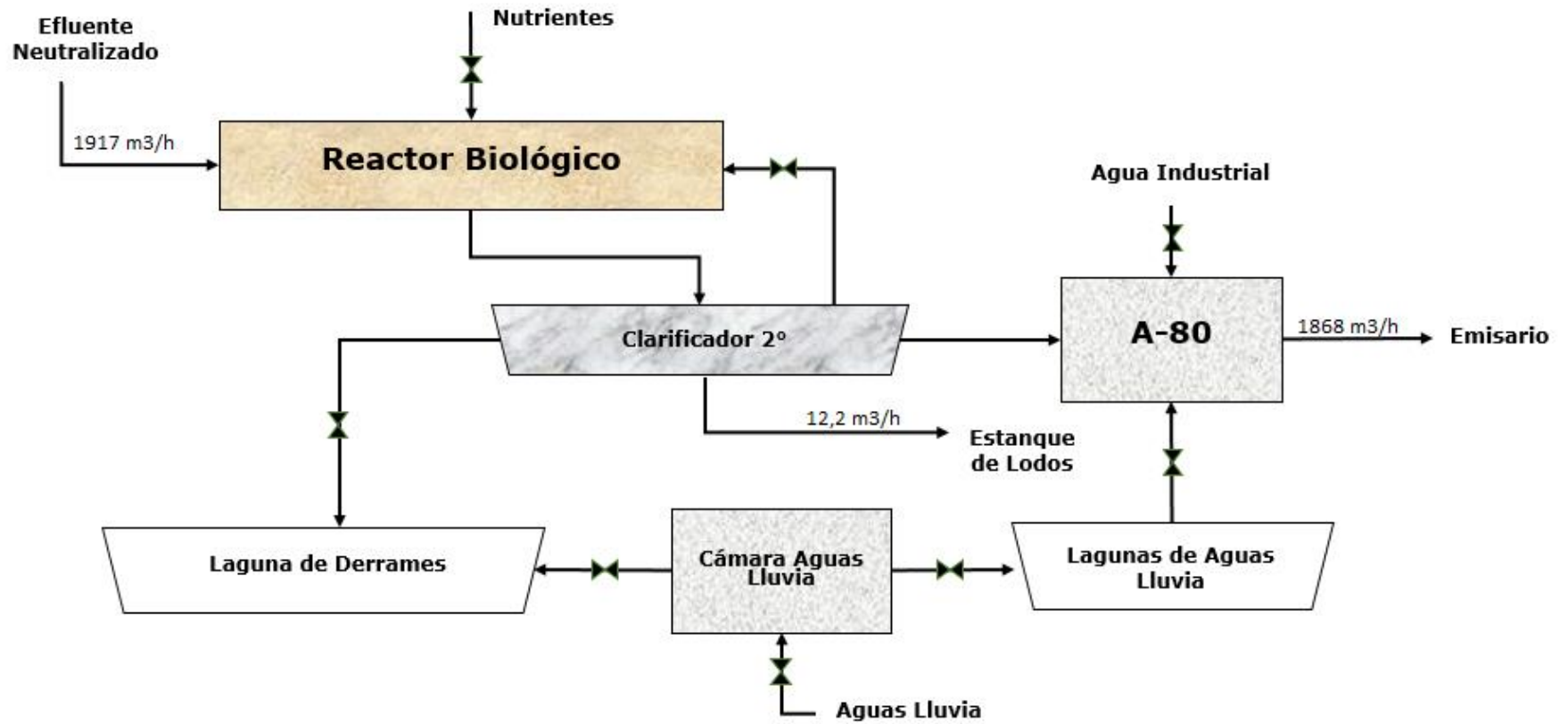


Figura 8.17: Distribución de agua en etapa Clarificador 2º

Tratamiento de lodo

Parte de los sólidos generados en el sistema son retirados de los clarificadores y son enviados hacia un estanque agitación, desde donde son bombeados a una prensa de bandas, adicionándole floculante para su mejor desaguado. La extracción de agua es realizada en dos etapas, primero a través de un desaguado gravitacional y posteriormente por el prensado de la masa de lodo. En promedio se retira del área 40 ton al día con un 80% de humedad.

El lodo extraído es mezclado con aserrín y corteza, mezcla que es utilizada como combustible en la Caldera de Poder, mientras que el excedente es destinado a vertedero que en promedio es de 20 ton/día.

En la siguiente figura se puede visualizar el proceso en donde destaca el uso de una bomba de alta presión que permite la limpieza del filtro de bandas, esta opera con un flujo de agua industrial de 6 l/s y permaneciendo 20 horas durante una jornada en servicio.

En la figura 8.18 se puede visualizar el proceso descrito:

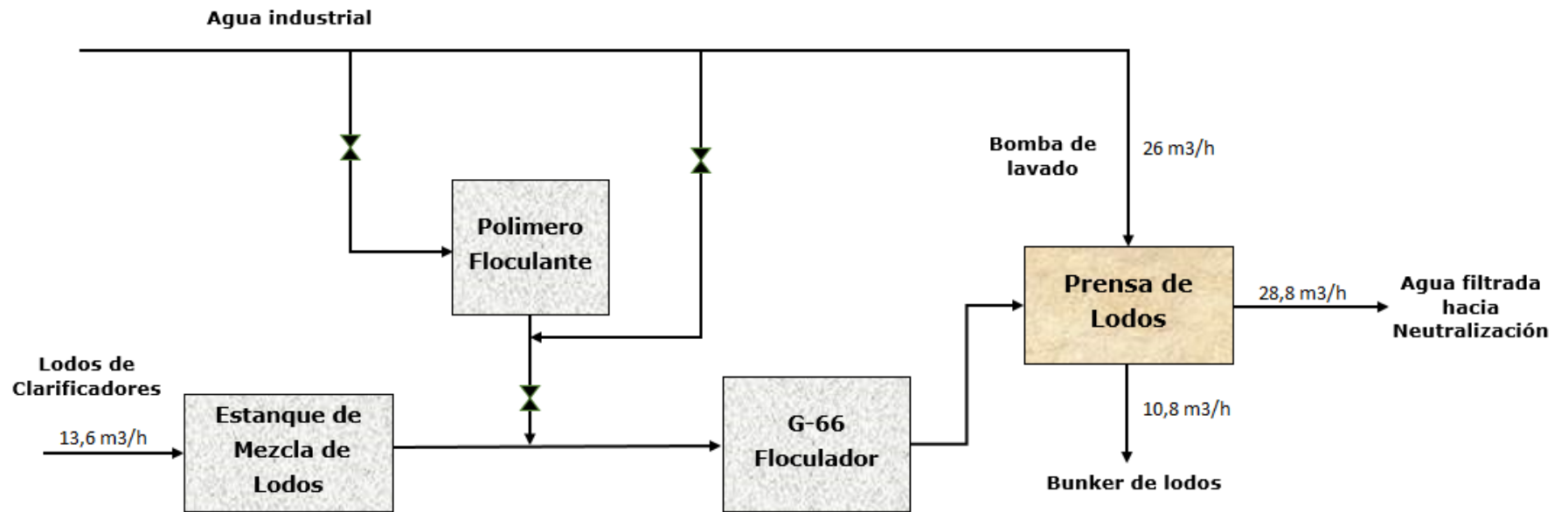


Figura 8.18: Distribución de agua en etapa de Tratamiento de Lodos

Laguna de Derrames

La planta cuenta con una Laguna de Derrames que es capaz de contener el efluente de la planta durante 19 horas de proceso continuo aproximadamente. Esta puede ser utilizada en distintas situaciones como, por ejemplo, cuando se realiza mantención o inspección al emisario sumergido, cuando el efluente de entrada se encuentra fuera de las especificaciones para el tratamiento o cuando algún parámetro se encuentra fuera de norma a la salida del tratamiento. A continuación, se detallan los parámetros para derivar el efluente de llegada hacia la laguna de derrames en el caso de encontrarse fuera de las especificaciones de tratamiento:

Parámetro	Valor
Temperatura	$T \geq 39 \text{ }^\circ\text{C}$
pH	$\text{pH} > 11,0$ o $\text{pH} < 5,0$
Conductividad	Planta Térmica $> 1600 \text{ } \mu\text{S/cm}$
Conductividad	Otras Áreas $> 1400 \text{ } \mu\text{S/cm}$

Tabla 8.22: Parámetros de calidad de agua efluentes rechazados

La laguna cuenta con un pozo de muestreo ubicado entre las membranas superior e inferior, donde confluyen las aguas que pudieran pasar la membrana superior. Adicionalmente, existen dos pozos de muestreo (calicatas), ubicadas al costado mar de la laguna, cuyo monitoreo busca detectar alguna alteración de las napas subterráneas. Cada dos años se realiza una inspección profunda de la membrana y si es necesario se realiza mantención.

Laguna de aguas lluvia

La Planta cuenta con dos lagunas para la acumulación de las aguas lluvia. Estas aguas podrán ser evacuadas hacia el mar siempre que los parámetros en la descarga se cumplan y el nivel de las lagunas amerite el bombeo. En el caso que las aguas lluvias se hayan contaminado por algún motivo pueden ser enviadas vía Laguna de Derrames hacia Planta de Tratamiento, para su posterior descarga al mar.

Tratamiento de Aguas Servidas

En Planta, existen fosas sépticas que recogen las aguas servidas al interior del recinto industrial. Las fosas principales cuentan con un sistema de cloración para prevenir la llegada de altas cargas de coliformes a la Planta de Tratamiento. Dicha cloración se realiza en forma rutinaria mediante la

adición de pastillas cloradoras, las cuales se van reponiendo en la medida que se consumen.

Otros usos de Agua

Preparación de reactivos en biorreactor: dentro de los reactivos que deben adicionarse para el tratamiento de la materia orgánica se encuentran Antiespumante, Ácido fosfórico y Urea. En donde este último requiere de ser preparado con 8 m³ de agua industrial cada tres días.

Limpieza de la tela de filtro de bandas: este es uno de los mayores consumos de agua industrial, ya que para efectuar la limpieza se ocupa un flujo de 6 l/s en donde durante un día normal se encuentra durante 20 horas en operación.

8.7 Anexo G

Para calcular la temperatura final se hizo el siguiente balance de energía, tomando como supuesto un calor específico promedio y una densidad promedio de la mezcla de ambos fluidos a distinta temperatura:

$$Cp_1 \cdot T_1 \cdot F_1 \cdot \rho_1 + Cp_2 \cdot T_2 \cdot F_2 \cdot \rho_2 = Cp_{promedio} \cdot T_3 \cdot F_3 \cdot \rho_{promedio}$$

$$F_1 + F_2 = F_3$$

Luego la temperatura final estará dada por la siguiente expresión:

$$\frac{Cp_1 \cdot T_1 \cdot F_1 \cdot \rho_1 + Cp_2 \cdot T_2 \cdot F_2 \cdot \rho_2}{Cp_{promedio} \cdot F_3 \cdot \rho_{promedio}} = T_3$$

Finalmente teniendo las densidades y valores específicos respectivos [56], se llega a la siguiente temperatura de mezcla:

$$\frac{4182 \cdot 293 \cdot 30 \cdot 998 + 4193 \cdot 348 \cdot 210 \cdot 974}{4188 \cdot 240 \cdot 986} = 338 \text{ } ^\circ K = 65 \text{ } ^\circ C$$