

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



PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL  
QUÍMICO

**MEJORAMIENTO Y AUTOMATIZACIÓN DE LA  
PLANTA DE AGUA CT5 DE LA GERENCIA  
FUNDICIÓN - REFINERÍA, DIVISIÓN  
SALVADOR (DSAL) DE CODELCO-CHILE**

**Soledad Jimena Díaz Bustos**

Profesores Guías:

José Torres Titus

Álvaro Aracena Caipa

**2012**

# Agradecimientos

Resulta muy difícil nombrar en esta hoja a todos los que de alguna u otra manera me ayudaron a llegar hasta este punto. Desde ya espero que sepan entender si alguno o alguna se me queda en el tintero y no le agradezco como debiera.

Me sería imposible comenzar sin agradecer a mi familia, debido a que sin su apoyo, es inimaginable escribir estas líneas. A mi mamá le agradezco por escucharme siempre con atención y mostrar interés en todo lo que yo aprendía. Por quitarme presión, en aquellos momentos en que me angustiaba, y siempre ayudarme a poner las cosas en perspectiva. A Guillermo le agradezco por todas las ocasiones que con una palabra de aliento y su buen sentido de humor me ayudaron a seguir adelante. Además, debo agradecerles a ambos por darme la certeza que siempre podía contar con su apoyo, y por su amor incondicional, lo agradezco profundamente.

A mis amigos de la Universidad, que hicieron grato el estudio y el tiempo vivido en “la escuela”. Por caminar junto a mí este difícil camino. Por ser ellos quienes se desvelaron conmigo, y por estar siempre dispuestos a explicarme, enseñar o escucharme, cuando así lo requerí. En especial, gracias Mariela y Karin.

A mi amiga de siempre, Pamela, por acompañarme durante todos estos años, y por hacer que cada momento vivido sea como si nunca nos hubiéramos separado.

A Codelco División Salvador por darme la oportunidad de realizar este estudio. En especial al personal de Ingeniería de Procesos, de la Fundición Potrerillos, por el apoyo en el desarrollo de mi memoria. En especial a Patricio Andrade.

Debo agradecer también a Javiera, Jeannette y Mariela por todo el apoyo y la compañía brindada en El Salvador. Por ayudarme a continuar, y no permitir que bajara los brazos.

Finalmente debo agradecer a los profesores José Torres y Álvaro Aracena por todo su apoyo, por confiar en mí y guiarme en la realización de este trabajo.

# Resumen

La fundición Potrerillos, perteneciente a CODELCO-Chile, División Salvador, está constituida por un Convertidor Teniente que posee una planta de agua, para el enfriamiento de los gases del convertidor. En la actualidad ésta tiene dificultades para cumplir su propósito, ocasionando diversos problemas, entre ellos, roturas de los paneles de la campana, corrosión en las cañerías y daños en los equipos, provocando pérdidas de producción por no poder operar el reactor, además de los gastos excesivos en mantenimiento correctivo.

Es por este motivo que el presente trabajo de título está orientado al mejoramiento de la planta de agua del Convertidor, con el fin de eliminar los problemas ocasionados por el mal funcionamiento y satisfacer los requerimientos de la Planta de Ácido Sulfúrico.

A través de la revisión y evaluación del proceso, se generó una propuesta que permite dar solución a los problemas. En la evaluación del proceso se identificaron tres focos con conflictos; el sistema de tratamiento físico del agua, los intercambiadores de calor y las torres de enfriamiento. Se realizaron análisis para determinar la causa de los éstos, concluyéndose que la inexistencia de control en el tratamiento físico, provocaba que el sistema trabajara con agua de mayor dureza a la requerida causando problemas en los equipos.

La propuesta generada abarca diversos puntos, siendo los más importantes el mejoramiento del estado de los equipos y la habilitación y control total de los sistemas de tratamiento físico del agua, con la implementación de la instrumentación necesaria.

En el transcurso de este trabajo se comenzó a implementar la propuesta, concluyéndose que ésta es apropiada para la planta, debido a las mejoras operacionales que se lograron. La inversión de la propuesta es sumamente inferior a los gastos de mantención y las pérdidas asociadas a los días sin producción, por fallas de los paneles.

# Índice

<i>Capítulo I</i>	<i>Introducción</i>	1
<b>1.1.</b>	<b>Antecedentes Generales de la Empresa</b>	<b>2</b>
<b>1.2.</b>	<b>Antecedentes Generales Gerencia Fundición Refinería Potrerillos</b>	<b>3</b>
1.2.1.	Proceso de Fusión-Conversion del Concentrado y Gases generados	5
<b>1.3.</b>	<b>Antecedentes del Proceso</b>	<b>6</b>
1.3.1.	Sistema de Captación de Gases	6
1.3.2.	Planta de Agua CT5	8
<b>1.4.</b>	<b>Planteamiento del Problema</b>	<b>18</b>
<b>1.5.</b>	<b>Objetivos</b>	<b>20</b>
1.5.1.	Objetivo General	20
1.5.2.	Objetivos Específicos	20
<i>Capítulo II</i>	<i>Metodología de Trabajo</i>	21
<b>2.1.</b>	<b>Metodología</b>	<b>22</b>
2.1.1.	Descripción de la metodología.	23
<i>Capítulo III</i>	<i>Desarrollo y Resultados</i>	24
<b>3.1.</b>	<b>Estado Actual Proceso</b>	<b>25</b>
3.1.1.	Circuito Primario	25
3.1.2.	Circuito Secundario	28
3.1.3.	Diagrama de flujo Planta de Agua CT5	29
3.1.4.	Situación actual Tratamiento de Agua	31
3.1.5.	Propuesta de mejoramiento	32
<b>3.2.</b>	<b>Identificación de Brechas</b>	<b>33</b>
<b>3.3.</b>	<b>Análisis de las Torres de Enfriamiento</b>	<b>34</b>
3.3.1.	Medición Make-up del Circuito	34
3.3.2.	Medición Purga del Circuito.	35
3.3.3.	Determinación de Ciclos de concentración del sistema.	36

3.3.4.	Comportamiento histórico de las Torres de enfriamiento. -----	38
3.3.5.	Revisión del relleno de las torres de enfriamiento -----	40
3.3.6.	Propuesta de mejoramiento y Conclusiones -----	43
<b>3.4.</b>	<b>Análisis de los Intercambiadores de Calor de Placas -----</b>	<b>46</b>
3.4.1.	Propuesta de mejoramiento y conclusiones -----	48
<b>3.5.</b>	<b>Análisis Sistema de Tratamiento de Agua -----</b>	<b>49</b>
3.5.1.	Análisis del proceso de regeneración y el estado de la salmuera -----	49
3.5.2.	Levantamiento de piping e instrumentación del Circuito Primario -----	55
3.5.3.	Levantamiento de piping e instrumentación del Circuito Secundario ----	58
3.5.4.	Propuesta de Mejoramiento y Conclusiones -----	65
<b>3.6.</b>	<b>Propuesta de Mejoramiento-----</b>	<b>78</b>
<i>Capítulo IV Análisis Económico-----</i>		<i>81</i>
<b>4.1.</b>	<b>Análisis Económico-----</b>	<b>82</b>
<i>Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones -----</i>		<i>90</i>
<i>Anexos -----</i>		<i>94</i>
<b>A.</b>	<b>Características del Agua -----</b>	<b>95</b>
A-1.	Características de Agua Potable -----	95
A-2.	Características de Agua Industrial -----	96
<b>B.</b>	<b>Características físico química de agua de reposición-----</b>	<b>97</b>
B-1.	Agua de reposición Circuito CT5: -----	97
B-2.	Reposición Torres de Enfriamiento: -----	98
<b>C.</b>	<b>Determinación de la dureza (Ca<sup>+2</sup> + Mg<sup>+2</sup>)-----</b>	<b>99</b>
C-1.	Método 1-----	99
C-2.	Método 2-----	100
<b>D.</b>	<b>Determinación de Cl<sup>-</sup> -----</b>	<b>101</b>
<b>E.</b>	<b>Temperaturas Circuito Secundario-----</b>	<b>104</b>
<b>F.</b>	<b>Temperaturas Circuito Primario-----</b>	<b>119</b>
<b>G.</b>	<b>Cotizaciones de instrumentos y equipos. -----</b>	<b>134</b>
G-1.	Cotizaciones de Instrumentaciones. -----	134

G-2. Cotizaciones de Rellenos de las torres y dispersores.-----	136
G-3. Cotizaciones de Válvulas y Fluómetros -----	138
<i>Bibliografía</i> -----	139
<i>Glosario</i> -----	141

# Índice de Figuras

Figura 1.1: Ubicación geográfica de división salvador .....	3
Figura 1.2: Proceso General Fundición Potrerillos .....	4
Figura 1.3: Diagrama de bloques general de la planta.....	9
Figura 1.4: Diagrama de Flujo, diseño Planta de Agua CT5 .....	17
Figura 2.1: Diagrama Metodología de Trabajo.....	22
Figura 3.1: Reposición Circuito Primario .....	25
Figura 3.2: Sensor de Presión.....	27
Figura 3.3: pHmetro Estanque Primario .....	27
Figura 3.4: Diagrama de Flujo, Planta de Agua CT5 Actual.....	30
Figura 3.5: Flujómetro no invasivo. ....	34
Figura 3.6: Medición Make-up circuito secundario .....	35
Gráfico 3.1: Comportamiento de las Torres de Enfriamiento. ....	39
Figura 3.7: Estado de Relleno Torres de Enfriamiento. ....	40
Figura 3.8: Relleno Torres de Enfriamiento .....	41
Gráfico 3.2: Temperaturas Circuito Secundario (nuevo relleno torres) .....	44
Gráfico 3.3: Temperaturas Circuito Primario (nuevo relleno torres) .....	45
Gráfico 3.4: Comportamiento de los intercambiadores de calor, circuito primario. ...	47
Grafico 3.5: Rendimiento del Ablandador A-1 .....	51
Grafico 3.6: Rendimiento Ablandador A-2.....	53
Figura 3.9: Piping e instrumentación Circuito Primario. ....	56
Figura 3.10: Piping e instrumentación Filtro Simple, Circuito Secundario.....	58
Figura 3.11: Piping e instrumentación Circuito Secundario.....	59
Figura 3.12: Purga Circuito Primario. ....	68
Figura 3.13: Propuesta de piping e instrumentación Circuito Primario.....	70
Figura 3.14: Propuesta de instrumentación Circuito Primario. ....	71
Figura 3.15: Propuesta de Piping e instrumentación Circuito Secundario. ....	73
Figura 3.16: Propuesta de Piping e instrumentación Filtro Simple.....	74

Figura 3.17: Propuesta de instrumentación Circuito Secundario. .... 76



## Índice de Tablas

Tabla 3.1: Análisis calidad de agua purgada. ....	35
Tabla 3.2: Análisis Calidad de Agua de Ablandador A-1.....	36
Tabla 3.3: Ciclos de torres de enfriamiento.....	37
Tabla 3.4: % de evaporación Torres de enfriamiento (ablandador A-1).....	37
Tabla 3.5: % de evaporación Torres de enfriamiento (ablandador A-2).....	38
Tabla 3.6: Análisis muestra de relleno. ....	42
Tabla 3.7: Resultados Prueba Ablandador A-1 .....	50
Tabla 3.8: Resultados Análisis Ablandador A-2 .....	52
Tabla 3.9: Listado de Válvulas del Circuito Primario .....	55
Tabla 3.10: Listado de Válvulas del Circuito Primario .....	57
Tabla 3.11: Listado de Válvulas Filtro Simple Circuito Secundario .....	60
Tabla 3.12: Listado de Válvulas Filtro Dúplex Circuito Secundario.....	60
Tabla 3.13: Listado de Válvulas Ablandadores Circuito Secundario.....	61
Tabla 3.14: Estado de Válvulas Filtro Simple Circuito Secundario.....	62
Tabla 3.15: Listado de Válvulas Filtro Dúplex Circuito Secundario.....	63
Tabla 3.16: Listado de Válvulas Ablandadores Circuito Secundario.....	64
Tabla 3.17: Análisis calidad de agua purgada circuito Primario.....	67
Tabla 4.1: Listado de instrumentos (Propuesta de Mejoramiento).....	82
Tabla 4.2: Proveedores y costos unitarios. ....	83
Tabla 4.3: Costo total de Inversión.....	84
Tabla 4.5: Gastos asociados a mantención no programadas. ....	86
Tabla 4.6: Gastos asociados al consumo de agua y su tratamiento. ....	87
Tabla 4.7: Detalle gasto puesto de trabajo, Planta de agua.....	88
Tabla 4.8: Gasto total de Operación Planta de agua. ....	89
Tabla 4.9: Evaluación Económica de la Propuesta de Mejoramiento. ....	89
Tabla B-1: Características del Agua de Reposición Circuito CT5 .....	97
Tabla B-2: Características Agua Reposición Torres Enfriamiento. ....	98

Tabla E: Promedio de temperaturas por día Circuito Secundario .....	104
Tabla F: Temperaturas promedios por día Circuito Primario.....	119
Tabla G-1: Precios Válvulas.....	138

# Capítulo I Introducción

## 1.1. Antecedentes Generales de la Empresa

Codelco es el primer productor de cobre del mundo y posee, además, cerca del veinte por ciento de las reservas mundiales del metal rojo.

El nombre Codelco representa a la Corporación Nacional del Cobre de Chile, una empresa autónoma, propiedad del Estado chileno, cuyo negocio principal es la exploración, desarrollo y explotación de recursos mineros de cobre y subproductos, su procesamiento hasta convertirlos en cobre refinado, y su posterior comercialización.

La empresa está conformada por siete Divisiones mineras: Chuquicamata, Radomiro Tomic, El Teniente, Andina, Salvador y Ventanas, a la que se suma la recientemente creada División Ministro Hales que aún no está operativa. A lo anterior se agrega su filial Minera Gaby S.A. que entró en operaciones el 2008. Además, participa con un 49% en la operación El Abra, en sociedad con Freeport MacMoRan. Codelco posee además otras asociaciones mineras orientadas a la explotación geológica, tanto en Chile como en el exterior.

Las operaciones de la División Salvador se realizan en la Provincia de Chañaral, Región de Atacama, desde la zona de la Cordillera de Los Andes, a 2.600 metros sobre el nivel del mar (SNM) y a una distancia de 1.100 kilómetros al norte de Santiago, hasta el Océano Pacífico, donde mantiene el puerto de embarque de Barquito.

Esta división tiene a su cargo la mina “Inca”, de explotación subterránea, y las minas “Campamento Antiguo” y “Damiana Norte”, ambas a rajo abierto.

Salvador explota minerales oxidados y sulfurados, a partir de los cuales produjo 76.184 toneladas métricas finas de cátodos de cobre al año. Además produce 1.044

# Capítulo I Introducción

---

toneladas métricas de molibdeno. También se obtienen barros anódicos y ácido sulfúrico.

La división cuenta con una concentradora de Cobre, una fundición de concentrado, además de una Refinería, donde se procesa el cobre anódico.



Figura 1.1: Ubicación geográfica de división salvador

## 1.2. Antecedentes Generales Gerencia Fundición Refinería Potrerillos

La División Salvador de CODELCO-CHILE, cuenta con una fundición de Concentrado de Cobre, integrada por el Convertidor Teniente CT5 y tres Convertidores Pierce Smith en operación y dos Horno de Refino, además de una Refinería, donde se procesa el cobre anódico producido en los Hornos de Refino. Estas instalaciones se encuentran ubicadas en Potrerillos.

Para el suministro de oxígeno, la Fundición posee una planta de 550 tpd de capacidad, además de una planta de ácido sulfúrico de 1.700 tpd de producción, la que se alimenta con gases provenientes de la Fundición.

## Capítulo I Introducción

La Fundición Potrerillos con todas sus instalaciones y equipos principales disponibles para operación, tiene una capacidad nominal de fusión de concentrado de 2.000 t/d.

El Diagrama operacional se presenta en la figura 1.2.

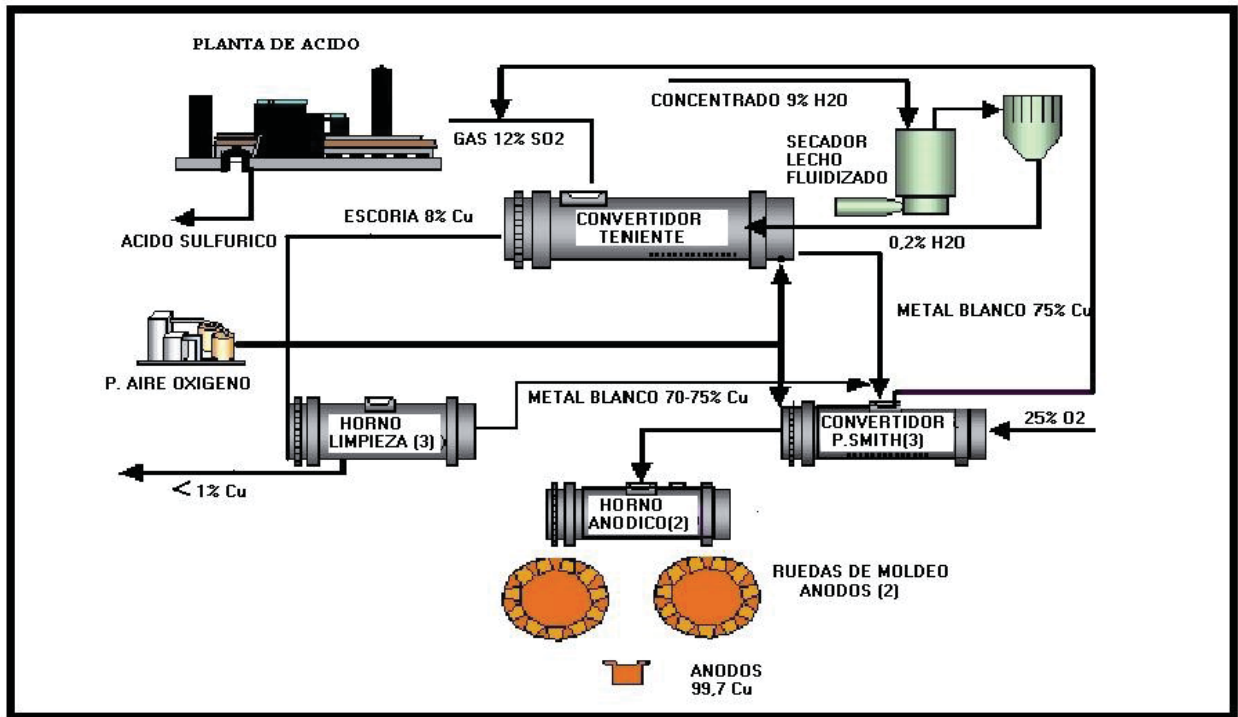


Figura 1.2: Proceso General Fundición Potrerillos

### 1.2.1. Proceso de Fusión-Conversion del Concentrado y Gases generados

El concentrado seco proveniente del complejo Mina-Concentradora Salvador, y concentrados externos (concentrados Chuquicamata, Andina, Ojos del Salado, Escondida y otros menores), es inyectado al baño fundido en forma sumergida a través de toberas especiales, en forma continua a razón de 89 t/h. A través de una batería de toberas se insufla aire enriquecido con oxígeno (35 – 37% O<sub>2</sub>). En este reactor los concentrados se funden en forma térmicamente autónoma. Adicionalmente a través del garr-gun se alimentará el fundente sílice ( $\approx$ 12 t/h) y el material circulante ( $\approx$ 12 t/h).

En el CT5 se generarán tres flujos de material:

- Metal blanco líquido, con 72 – 75 %Cu, 5%Fe, 21%S
- Escoria líquida, con 8% Cu, 38% Fe y 26% SiO<sub>2</sub>.
- Gases con alto contenido de SO<sub>2</sub> y contenido moderado de polvo

#### • Sistemas de Captación y Manejo de Gases

Los gases primarios y polvos arrastrados del CT5 son extraídos en forma continua a través de la boca de evacuación del reactor, colectados por una campana refrigerada por agua, enviados al circuito de enfriamiento y manejo de gases + polvos (pre-cámara y cámara de enfriamiento radiativa y dos precipitadores electrostáticos existentes) y desde allí a la cámara de mezcla, mediante la acción de dos ventiladores de tiraje inducido existentes. Desde la Cámara de Mezcla, los gases son enviados a la Planta de Acido Sulfúrico. Los polvos indicados son recirculados al proceso (CT5); los polvos finos (precipitadores electrostáticos) se

alimentan mezclados con el concentrado seco y los gruesos (cámara de enfriamiento variativa) junto con el circulante.

### 1.3. Antecedentes del Proceso

#### 1.3.1. Sistema de Captación de Gases

Los gases del proceso de fusión – conversión del CT conteniendo principalmente anhídrido sulfuroso (aproximadamente 25% SO<sub>2</sub> en volumen), nitrógeno, vapor de agua proveniente de la humedad del aire de proceso y de la carga sólida y otros componentes gaseosos, se extraen en forma continua a través de la boca de evacuación de gases del reactor, a una temperatura promedio de 1260°C. Estos gases junto con el polvo arrastrado se colectan por medio de una campana refrigerada por agua y luego se envían al circuito de enfriamiento y manejo de gases y polvos.

El enfriamiento del agua de refrigeración de la campana se realiza a través de la planta Maligas.

- **Campana Captadora de Gases CT5**

Campana Primaria

Tipo	Enfriada por agua
Temperatura del agua, (°C)	60
Temperatura salida agua, (°C)	75
Método de circulación	Bomba centrífuga
Bombas de circulación agua enfriamiento Campana CT5 (circuito primario, agua potable)	



## Capítulo I Introducción

---

Unidades	3
Nº. Operando	2
Nº. stand-by	1
Tipo	Centrífuga
Capacidad, c/u, (m <sup>3</sup> /h)	325
Presión de trabajo, (m.c.a.)	40
Intercambiadores de calor de placa	
Unidades	4
Nº Operando	3
Nº stand-by	1
Capacidad, c/u, (m <sup>3</sup> /h)	300
Estanque agua refrigeración	
Unidades	1
Capacidad, (m <sup>3</sup> )	100
Tanque alimentador agua de refrigeración (Circuito Secundario, agua industrial)	
Bombas de circulación agua refrigeración	
Unidades	3
Nº Operando	2
Nº stand-by	1
Tipo	Centrífuga
Capacidad, c/u, (m <sup>3</sup> /h)	355
Presión de trabajo, (m.c.a.)	25
Torres enfriamiento	
Unidades	4
Nº Operando	3
Nº stand-by	1
Capacidad, c/u, (m <sup>3</sup> /h)	215
Estanque agua industrial (Dividido por cada torre de enfriamiento)	
Unidades	1
Capacidad, (m <sup>3</sup> )	200

### 1.3.2. Planta de Agua CT5

La fundición cuenta con instalaciones que requieren de agua industrial, para el enfriamiento en intercambiadores de calor. El agua es llevada a torres de enfriamiento para su posterior reutilización, a su vez, se utiliza agua potable para algún circuito de enfriamiento de los distintos sistemas.

La Planta de Agua cubre los requerimientos para realizar la extracción de calor desde los gases calientes del convertidor.

La planta de agua está constituida por dos circuitos de enfriamiento:

- Circuito Primario o de Agua Potable
- Circuito Secundario o de Agua Industrial

El Circuito Primario, opera con agua potable provista desde la red existente, enfría directamente los paneles de refrigeración del CT. Las características del agua potable se especifican en el Anexo A.

El Circuito Secundario opera con agua industrial, suministrada por una matriz existente desde el estanque “La Ola”, la cual se hace circular para retirar calor desde el circuito primario mediante cuatro (4) intercambiadores (de los cuales operan tres, permaneciendo uno en stand-by), y transferirlo al ambiente a través de cuatro (4) torres de enfriamiento, de las cuales operan tres, permaneciendo una stand-by. Las características del agua industrial se especifican en el anexo A.

Cada uno de los circuitos cuenta con un sistema de reposición de agua previamente tratada.

En la figura 1.3 se muestra el diagrama de bloque general de la planta de agua.

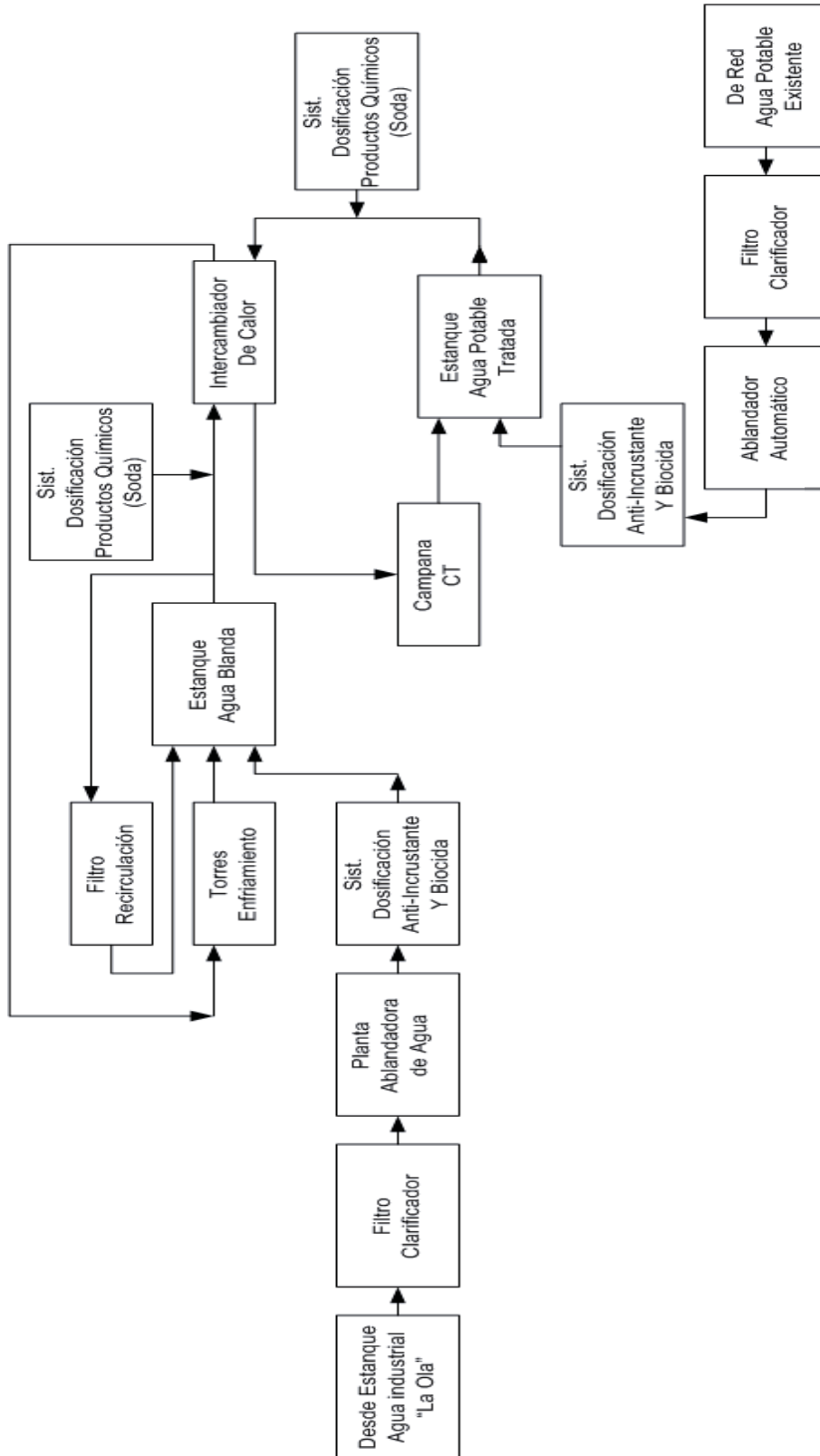


Figura 1.3: Diagrama de bloques general de la planta.

- **Circuito Primario**

Este circuito cerrado permite el enfriamiento directo de los paneles de refrigeración del CT5, transfiriendo el calor al circuito secundario mediante los intercambiadores de calor.

Este circuito está compuesto por:

- Planta de Tratamiento de agua de reposición.
- Sistema de Recirculación.

- **Planta de Tratamiento de Agua Potable**

Esta planta opera con el objeto de minimizar el deterioro mecánico e hidráulico de los respectivos sistemas de recirculación de agua de enfriamiento, que se produciría a causa de la mala calidad de agua.

La Planta de Tratamiento de Agua Potable cumple el objetivo de acondicionar el agua de reposición a razón de 3 m<sup>3</sup>/h según valor de diseño, y a 0,1 m<sup>3</sup>/h valor make-up.

El agua es alimentada desde la matriz hacia el estanque de preparación de salmuera y enviada directamente hacia la línea de tratamiento.

El agua de reposición del circuito primario pasa en una primera etapa a través de un filtro duplex de 24 m<sup>3</sup> de capacidad, con el objetivo de retener los sólidos en suspensión. Dicho filtro está compuesto por dos (2) columnas dotadas de material filtrante, que operan en forma alternativa para permitir la mantención de una de ellas sin necesidad de detener el suministro de agua de reposición. En este caso el cambio de columna se realiza cuando se sobrepasa la presión diferencial de 5,7 psi

## Capítulo I Introducción

---

(4 m.c.a.) en uno de los filtros, o se han procesado 24 m<sup>3</sup> de agua, lo que ocurra primero.

Al sacar de servicio una de las columnas de filtración, se realiza la limpieza por retrolavado en forma automática (remoto-manual desde la sala de control); ocasionalmente, ante fallas el sistema remoto-manual, se debe accionar el sistema desde el panel local para poder realizar la limpieza de las columnas de filtración haciendo ingresar agua en contracorriente impulsada por una bomba a razón de 8 m<sup>3</sup>/h.

Una vez filtrada el agua, pasa a un sistema de dos (2) columnas ablandadoras donde se reducen los contenidos de calcio y magnesio mediante el principio de intercambio iónico. Se opera normalmente con una de las columnas mientras la segunda permanece stand-by. El cambio de columnas se realiza cuando a la salida de los ablandadores se llega a medir una concentración de 6 p.p.m. de dureza ó se ha ablandado un total de 24 m<sup>3</sup>, lo que ocurra primero.

En las columnas se dispone de un sistema de adición de salmuera (NaCl), por medio de una bomba dosificadora, con el objetivo de compensar la pérdida de sodio en la resina ablandadora durante su operación, este proceso de recuperación de sodio de la resina, se denomina regeneración. El proceso de regeneración comienza con un retrolavado del ablandador que ha salido de servicio al producirse el cambio de columna, para eliminar la suciedad que pueda contener, luego de lo cual se incorpora salmuera reconstituyente de la resina, y finalmente se somete a un enjuague quedando así disponible para entrar en operación en el siguiente cambio de columna. Este proceso es automático y se activa manualmente desde la sala de control; no obstante si el sistema remoto falla, se deberá accionar el sistema de retrolavado desde el panel local del sistema.

Finalmente, al agua de reposición se le adiciona anti-incrustante y biocida, mediante bombas dosificadoras a razón de 1.2 y 3.4 l/h respectivamente. Estos aditivos están contenidos en estanques de 1 m<sup>3</sup> cada uno.

Una vez tratada el agua de reposición pasa a un estanque de 100 m<sup>3</sup> de capacidad cuyo interior está dividido en dos (2) partes para efectos de limpieza de una sección. Las características del agua de reposición se especifican en la tabla B-1 (Anexo B).

### ➤ Sistema de Recirculación de Agua Potable

El Sistema de Recirculación del circuito primario está formado por una serie de equipos: estanque, bombas de recirculación, intercambiadores de calor y puntos de enfriamiento. Estos elementos permiten la absorción, transporte y entrega al circuito de agua industrial del calor generado en los puntos de enfriamiento, con un caudal de agua de 650 m<sup>3</sup>/h que se encuentra constantemente recirculado impulsado por dos bombas de 325 m<sup>3</sup>/h.

Al estanque de agua potable llega tanto agua de reposición como agua recirculada. El agua se conduce a cuatro intercambiadores de calor (uno queda stand-by), por medio de tres bombas de impulsión de 325 m<sup>3</sup>/h (sólo operan dos bombas en tanto la tercera permanece stand-by), previa adición de soda (NaOH) a razón de 63 l/h para la regulación de pH.

En los intercambiadores de calor el agua pasa a razón de 215 m<sup>3</sup>/h en cada uno, bajando su temperatura de 45 a 30 °C, transfiriendo el calor al circuito secundario. El calor transferido es extraído en los puntos de enfriamiento ya indicados.

El agua saliente de los intercambiadores es conducida hacia los convertidores, en donde se enfría la campana de CT.

- **Circuito Secundario**

El Circuito Secundario funciona de manera muy similar con relación al Circuito Primario. Este Circuito tiene por objetivo la evacuación al ambiente del calor extraído de los gases y los equipos, recibido desde el circuito primario a través de los intercambiadores de calor. Este sistema permite la circulación de agua entre los intercambiadores y cuatro torres de enfriamiento.

Al igual que el circuito primario, este circuito cuenta con:

- Planta de Tratamiento de agua de reposición.
- Sistema de Recirculación.

- **Planta de Tratamiento de Agua Industrial**

La planta de Tratamiento de Agua Industrial cumple el objetivo de acondicionar el agua de reposición a razón de 24 m<sup>3</sup>/h (make-up), siendo el valor de diseño 30 m<sup>3</sup>/h.

El agua de reposición proveniente de una matriz existente es enviada a un sistema de filtración dúplex de capacidad 240 m<sup>3</sup>, similar al correspondiente del Circuito Primario. En este caso, el cambio de columna se realiza cuando se sobrepasa la presión diferencial de 5,7 psi (6 m.c.a.) en uno de los filtros o se han procesado 240 m<sup>3</sup> de agua (lo que ocurra primero).

Al sacar de servicio la columna se realiza una limpieza por retrolavado mediante agua en contracorriente impulsada por una bomba centrífuga a razón de 95 m<sup>3</sup>/h. Esta actividad se realiza en forma automática, activada manualmente desde la sala de control; no obstante ocasionalmente el sistema remoto desde sala de control

sufre alguna falla, en tal caso el operario debe accionar manualmente el sistema desde el panel de terrero.

Una vez filtrada, el agua ingresa a dos (2) columnas ablandadoras (una stand-by), que opera en forma similar a la existente en el Circuito Primario. Se produce el cambio de columna cuando a la salida de los ablandadores se mide una concentración de 6 p.p.m. de dureza o se han totalizado 240 m<sup>3</sup>.

Finalmente, se adiciona anti-incrustante y biocida a razón de 3,4 y 4,2 l/h mediante bombas dosificadoras desde estanque de 1 m<sup>3</sup> de capacidad cada uno. El agua tratada se ingresa al estanque de agua industrial cuya capacidad es de 200 m<sup>3</sup>. Las características del agua se especifican en la tabla B-2 (Anexo B).

### ➤ Sistema de Recirculación Agua Industrial

El sistema de Recirculación del Circuito Secundario está constituido principalmente por una línea de circulación de agua, que opera teniendo al estanque como pulmón, entre los intercambiadores de calor y las torres de enfriamiento, con un caudal de 650 a 710 m<sup>3</sup>/h como máximo, proporcionado por dos bombas de 355 m<sup>3</sup>/h.

El agua contenida en el estanque de agua industrial es recirculada por tres bombas de 355 m<sup>3</sup>/h cada una, que la impulsan a los intercambiadores de calor (sólo operan dos bombas en tanto la tercera permanece stand-by). Previo al paso por los intercambiadores se regula el pH, para ello se cuenta con una bomba dosificadora que permite realizar ésta operación. Después de los intercambiadores de calor el agua se conduce a las torres de enfriamiento, en donde se descarga el calor al ambiente, luego de lo cual retorna al estanque de agua industrial donde comienza el ciclo nuevamente.

Existe también una recirculación dentro del sistema de agua industrial en que se filtra una fracción del agua utilizada en el sistema. Se extrae agua desde el manifold



de entrada y se hace pasar a través de un filtro simple en lazo cerrado, siendo medido su caudal a través de un flujómetro antes de retornar al estanque.

- **Descripción de Instalaciones**

La planta de agua se encuentra ubicada en el extremo Noreste de la fundición y destacan en ella por sus dimensiones las cuatro torres de enfriamiento instaladas en el sector Este de la misma y bajo las cuales es posible encontrar el estanque de agua industrial, en esta área costado se encuentran ubicados los intercambiadores de calor.

En el lado Oeste de la planta se encuentran la mayor parte de los equipos restantes, entre los que se tienen los estanques de soda, bombas de impulsión y dosificación, filtros clarificadores, ablandadores, etc.

Los componentes de los dos circuitos que forman la Planta de Agua, se listan a continuación.

Circuito Primario (Agua potable)

Planta de Tratamiento Agua Potable:

- a) Filtros Dúplex
- b) Ablandadores Dúplex
- c) Bomba retrolavado
- d) Estanque Anti-incrustante
- e) Bomba dosificadora de anti-incrustante
- f) Estanque Biocida
- g) Bomba dosificadora Biocida
- h) Estanque de Salmuera
- i) Bomba Impulsión de Salmuera

## Capítulo I Introducción

---

Sistema de Recirculación Agua Potable:

- a) Intercambiadores de Calor
- b) Bombas de Recirculación Agua Potable
- c) Estanque de Agua Potable
- d) Bomba dosificadora de Soda
- e) Estanque de Soda

Circuito Secundario (Agua Industrial)

Planta de Tratamiento Agua Industrial:

- a) Filtros Dúplex
- b) Ablandadores Dúplex
- c) Bomba retrolavado
- d) Estanque Anti-incrustante
- e) Bomba dosificadora de anti-incrustante
- f) Estanque Biocida
- g) Bomba dosificadora Biocida
- h) Estanque de Salmuera
- i) Bomba Impulsión de Salmuera

Sistema de Recirculación Agua Industrial:

- a) Torres de Enfriamiento
- b) Estanque de Agua Industrial
- c) Bombas de Recirculación
- d) Bomba dosificadora de Soda
- e) Filtro Simple
- f) Bomba Retrolavado Filtro Simple Agua Industrial

Común a ambos sistemas, se tiene un estanque surtidor de salmuera, cuya capacidad es de 40 m<sup>3</sup>, y un estanque de soda de capacidad 2 m<sup>3</sup>.

• Diagrama de flujo Diseño Planta de Agua CT5

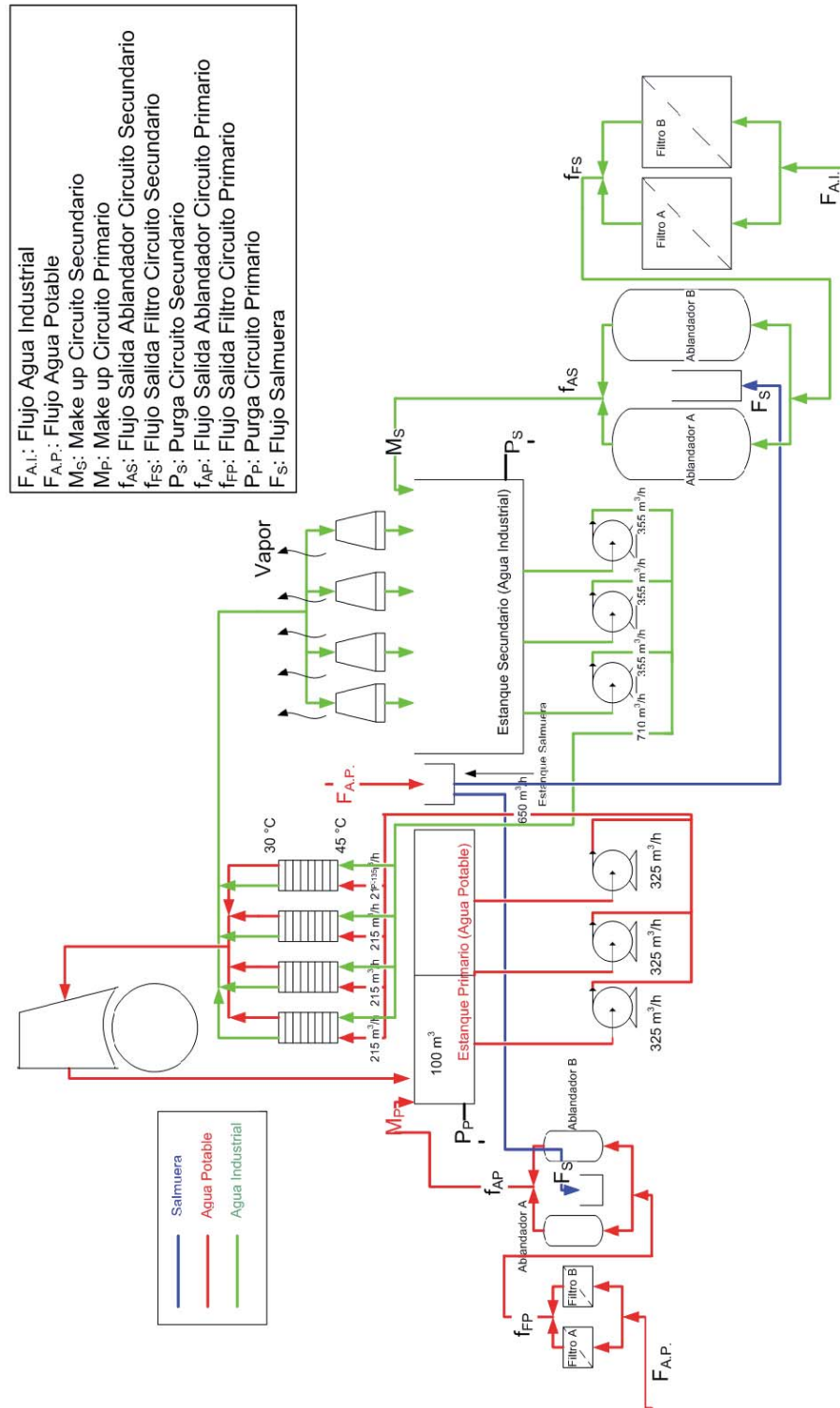


Figura 1.4: Diagrama de Flujo, diseño Planta de Agua CT5

### 1.4. Planteamiento del Problema

La Fundición Potrerillos considera fundir en promedio, 2.000 tpd de concentrado en un Convertidor Teniente de 5m  $\phi$  x 22 ml, para producir un metal blanco de 75% Cu y una escoria de 8% Cu. Para este efecto, el CT5 está provisto de los sistemas correspondientes de alimentación de concentrado seco y fundente, aire y oxígeno de soplado, captación y manejo de gases, extracción de productos y control de procesos.

El sistema de captación de gases consiste en una campana de captación refrigerada con agua y compuerta de carga abatible. El enfriamiento del agua de refrigeración se realiza a través de la planta Maligas.

Los gases comúnmente encontrados son:

- Nitrógeno: proveniente principalmente del aire inyectado por toberas y del aire infiltrado.
- Oxígeno: inyectado por toberas y que no alcanzó a reaccionar en el baño, además del proveniente del aire infiltrado.
- Anhídrido sulfuroso: proveniente de la oxidación del azufre pirítico y de la oxidación del FeS.
- Vapor de agua: proveniente de la evaporación del agua de la carga y de la quema de combustibles derivados del petróleo.
- CO<sub>2</sub> y CO: en aquellos casos en que hay quema de un combustible fósil.

El objetivo de incluir un sistema de manejo de gases al CT5 es el de enfriarlos y limpiarlos de las especies sólidas y volátiles producidas, para satisfacer los requerimientos de la Planta de Ácido Sulfúrico.

Actualmente existen problemas para refrigerar las campanas de los reactores (CT5 y CPS's).

## Capítulo I Introducción

---

La insuficiente capacidad de refrigeración provoca diversos problemas, entre ellos, las roturas de los paneles de la campana, causando contaminación en el agua de proceso al infiltrarse gases de  $\text{SO}_2$ , provocando corrosión en las cañerías, daños en los equipos, acumulación de desechos en los filtros de las bombas e incrustaciones en las placas de los intercambiadores de calor, causando una disminución de flujo o taponamiento. Además de las pérdidas de producción por no poder operar el reactor, por consecuencias de filtración de agua hacia el interior.

Es por este motivo que se hace indispensable una buena refrigeración, que al controlarla se garantice una operación segura y confiable de los equipos y la reducción y/o eliminación de las paradas no programadas que cusan altos costos asociados a la producción y mantención.

### **1.5. Objetivos**

#### **1.5.1. Objetivo General**

Aumentar el enfriamiento de la campana refrigerada del reactor a través de alcanzar el estándar de diseño de las plantas de tratamiento de agua.

#### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Evaluar las capacidades de la planta diseño y actual.
- Realizar una propuesta de mejoramiento, que asegure el enfriamiento de las campanas refrigeradas del sistema.
- Realizar propuesta de automatización de planta.

## Capítulo II Metodología de Trabajo

### 2.1. Metodología

La metodología utilizada para cumplir con los objetivos planteados en el presente trabajo de título es mostrada en el siguiente esquema:

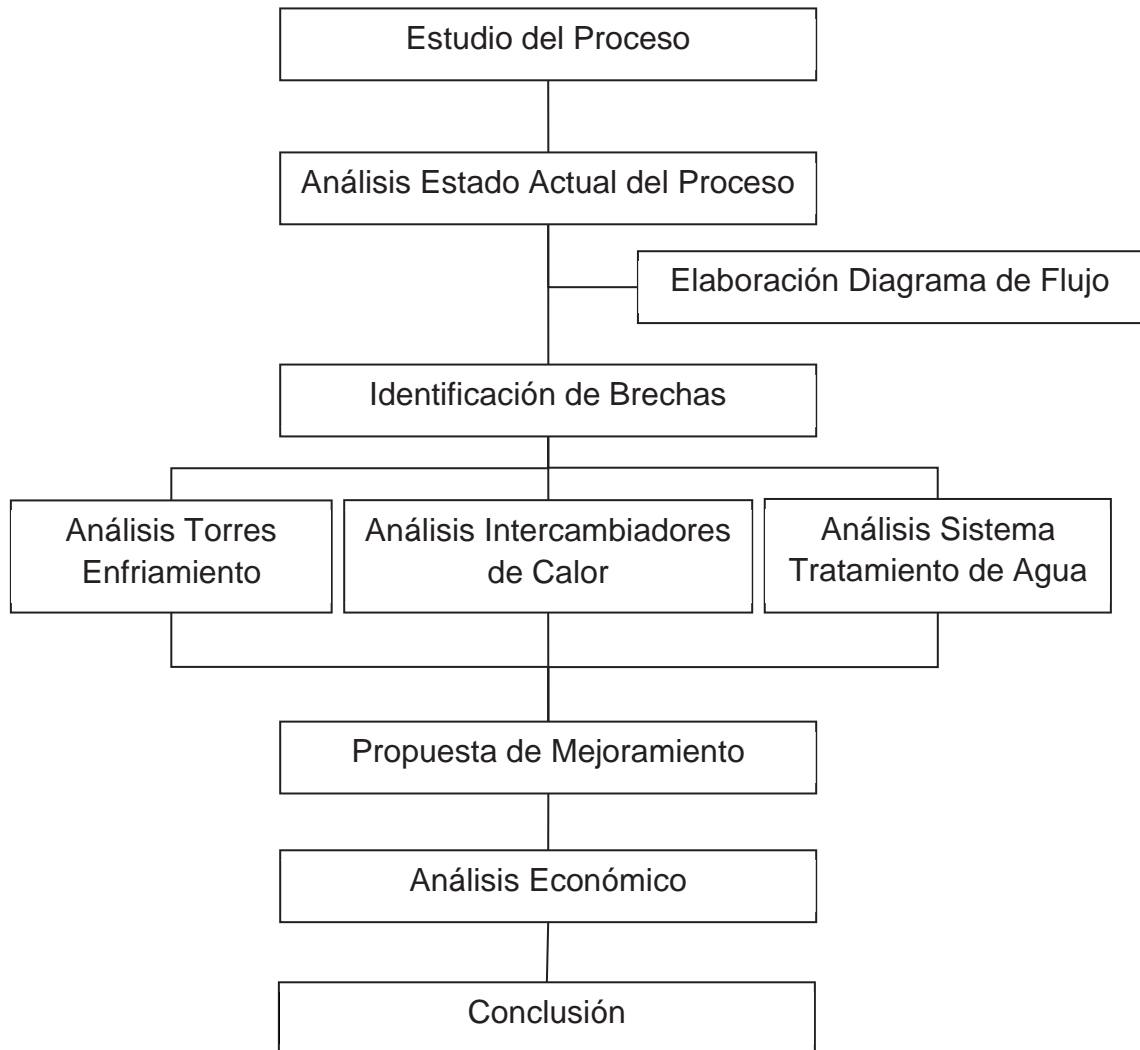


Figura 2.1: Diagrama Metodología de Trabajo.



### 2.1.1. Descripción de la metodología.

En el desarrollo de la tesis se identifican dos etapas, la primera consiste en la recopilación de información acerca de la planta de enfriamiento de la campana del convertidor Teniente; en la segunda etapa se estudia la situación actual de la planta, identificando las posibles brechas y generando un diagrama de flujo de esta situación (información que en la actualidad no existe). Además se realizará un levantamiento de piping e instrumentación de ambos circuitos, verificando el estado de estos en terreno. Con el fin de realizar una propuesta de mejoramiento de la planta y analizar el impacto económico de dicha propuesta.

Con este análisis se identificaron tres focos en conflicto: las Torres de Enfriamiento, los Intercambiadores de calor de placas y los sistemas de tratamiento de agua.

Se realizan pruebas en cada foco con el fin de determinar el estado de los equipos. En el caso de las torres de enfriamiento se tomarán muestras de agua, para determinar los ciclos; muestras sólidas del relleno de las torres y se analizará el comportamiento histórico a través del programa PI System utilizado en la empresa. Las muestras líquidas y sólidas serán enviadas al laboratorio de Codelco. Además se medirán las purgas del circuito secundario y el Make-up del sistema.

Para los intercambiadores de calor se analizará el comportamiento histórico a través del programa PI System.

Finalmente para el Análisis de los sistemas de tratamiento de agua, se realizarán pruebas de laboratorio para determinar el estado de los ablandadores y de la salmuera utilizada en el proceso de regeneración; para esto se tomarán muestras de los ablandadores (A-1 y A-2), cada 15 minutos, luego serán analizadas de dos formas; a través del laboratorio de la empresa y a través del método de valoración in-situ. También se analizará la disponibilidad de Agua potable en la División, a través de los datos obtenidos por PI System y se determinará la purga del circuito primario.

## Capítulo III Desarrollo y Resultados

### 3.1. Estado Actual Proceso

#### 3.1.1. Circuito Primario

El Circuito Primario en la actualidad opera con agua Industrial suministrada por una matriz existente desde el estanque “La Ola” y con Agua Industrial tratada proveniente de la planta de tratamiento del Circuito Secundario (Figura N°1). Además el Circuito opera con purga constante, por las altas temperaturas del sistema.

El sistema de tratamiento para la reposición de agua no se encuentra operativo, pero las instalaciones existen (filtro duplex de 24 m<sup>3</sup> de capacidad y (2) columnas ablandadoras con su respectivo estanque de salmuera.



Figura 3.1: Reposición Circuito Primario

En el sector superior del estanque existe una losa con una abertura para la llegada del agua de retorno. Originalmente el borde de la abertura tenía una lámina que actuaba como barrera para impedir que la suciedad que pudiera haber en la losa

## Capítulo III Desarrollo y Resultados

---

cayera al estanque. Pero en la actualidad se observa que dicha lámina está oxidada y ya no existe tal barrera.

Este circuito por ser cerrado no tiene evaporación de agua y no está expuesto a la luz solar y en consecuencia el problema principal que presenta es corrosión y eventualmente fouling orgánico, producto de crecimientos de bacterias y algas.

La planta de tratamiento de Agua de este circuito no es utilizada, hoy en día se encuentra fuera de funcionamiento.

El Sistema de Recirculación del circuito primario está formado por una serie de equipos: estanque, bombas de recirculación, intercambiadores de calor y puntos de enfriamiento. El caudal de agua de este sistema es menor al de diseño, bordeando los 490 m<sup>3</sup>/h mientras que el de diseño es de 650 m<sup>3</sup>/h.

La falta de agua o la refrigeración por aire en los paneles de campanas, causa roturas en estos, causando contaminación en el agua de proceso al infiltrarse gases de SO<sub>2</sub>, provocando corrosión en las cañerías, daños en los equipos, acumulación de desechos en los filtros de las bombas y biofouling e incrustaciones en las placas de los ICA, causando una disminución de flujo o taponamiento.

En los intercambiadores de calor el agua baja su temperatura de 53 a 51°C, a diferencia del diseño que es de 45 a 30 °C, transfiriendo el calor al circuito secundario.

El agua saliente de los intercambiadores es conducida hacia el convertidor, en donde se enfría la campana de CT y luego al estanque del Circuito.

El sensor de nivel del estanque entrega un valor fijo, independiente del nivel real de la planta, por lo que el nivel bajo no es detectado. Actualmente se utiliza un sensor de presión, el cual al estar en el fondo del estanque puede ensuciarse fácilmente.



Figura 3.2: Sensor de Presión.

En la actualidad no existe medición en línea para el control sobre el tratamiento de la empresa Aguasin. Ésta tiene un contrato de tratamiento de agua que sólo opera de día. Dicho tratamiento se realiza a través del control de algunos parámetros relevantes, como el pH o la dureza. Para que no se ensucien las cañerías, se debe aplicar anticorrosivo, antincrustante y biocida. Si bien existe una medición de pH, de acuerdo a lo informado por operaciones, no entrega una medición real.



Figura 3.3: pHmetro Estanque Primario.

### 3.1.2. Circuito Secundario

El Circuito Secundario opera con agua industrial, suministrada por una matriz existente desde el estanque “La Ola”, la cual se hace circular para retirar calor desde el circuito primario.

La reposición de este Circuito proviene de la planta de tratamiento de Agua, En la actualidad se opera con purga constante, por las altas temperaturas del sistema. Por lo tanto la planta de tratamiento de Agua Industrial opera en forma continua sin registro de caudal.

El agua de reposición proveniente de una matriz existente es enviada a un sistema de filtración dúplex y luego ingresa a dos (2) columnas ablandadoras (una stand-by).

Ya que la medición de Ión Calcio, no funciona, el cambio de columna se produce cuando el operador de sala de control estima conveniente, o cuando el personal de Aguasin indica que es necesario, esto último solo se produce cuando el personal determina la dureza entregada por el ablandador, esto es realizado una vez al día a las 8:00 am.

Como consecuencia de lo anterior, al sistema ingresa agua con mayor dureza de la establecida para el buen funcionamiento de la planta.

La supervisión de parámetros como pH y conductividad, actualmente no se encuentran monitoreados desde la estación de operación, debido a ello no se puede ejercer un control sobre los sistemas de tratamiento químicos realizados en los circuitos de enfriamiento.

En el sistema de recirculación del Circuito Secundario se opera con un caudal de 360 m<sup>3</sup>/h aproximadamente, mientras que el diseño opera con 650 a 710 m<sup>3</sup>/h como máximo, proporcionado por dos bombas de 355 m<sup>3</sup>/h.

El agua contenida en el estanque de agua industrial es recirculada a los intercambiadores de calor sin regular el pH y sin adición de soda, el sistema de regulación no se utiliza. Después de los intercambiadores de calor el agua se conduce a las torres de enfriamiento, en este tipo de circuitos el enfriamiento se produce poniendo en íntimo contacto el agua de recirculación, con una gran masa de aire en contracorriente en la torre de enfriamiento, en este contacto una fracción del agua de recirculación se evapora tomando calor de las gotas de agua vecinas, y en consecuencia se produce un enfriamiento en el agua de recirculación. El agua del circuito sufre un continuo incremento en su nivel de sales disueltas (se evapora el agua pero sus sales quedan en el circuito), y por lo tanto se purga una parte de ella, la cual se repone por agua fresca para mantener un adecuado nivel de sales en el agua de recirculación.

Los principales problemas que presentan este tipo de circuitos, dependiendo de las características del agua de alimentación, son: corrosión, incrustaciones, formación de lodos y crecimiento de bacterias y algas.

### **3.1.3. Diagrama de flujo Planta de Agua CT5**

La situación operativa actual de la planta de agua del convertidor Teniente, se observa en la figura 3.4.

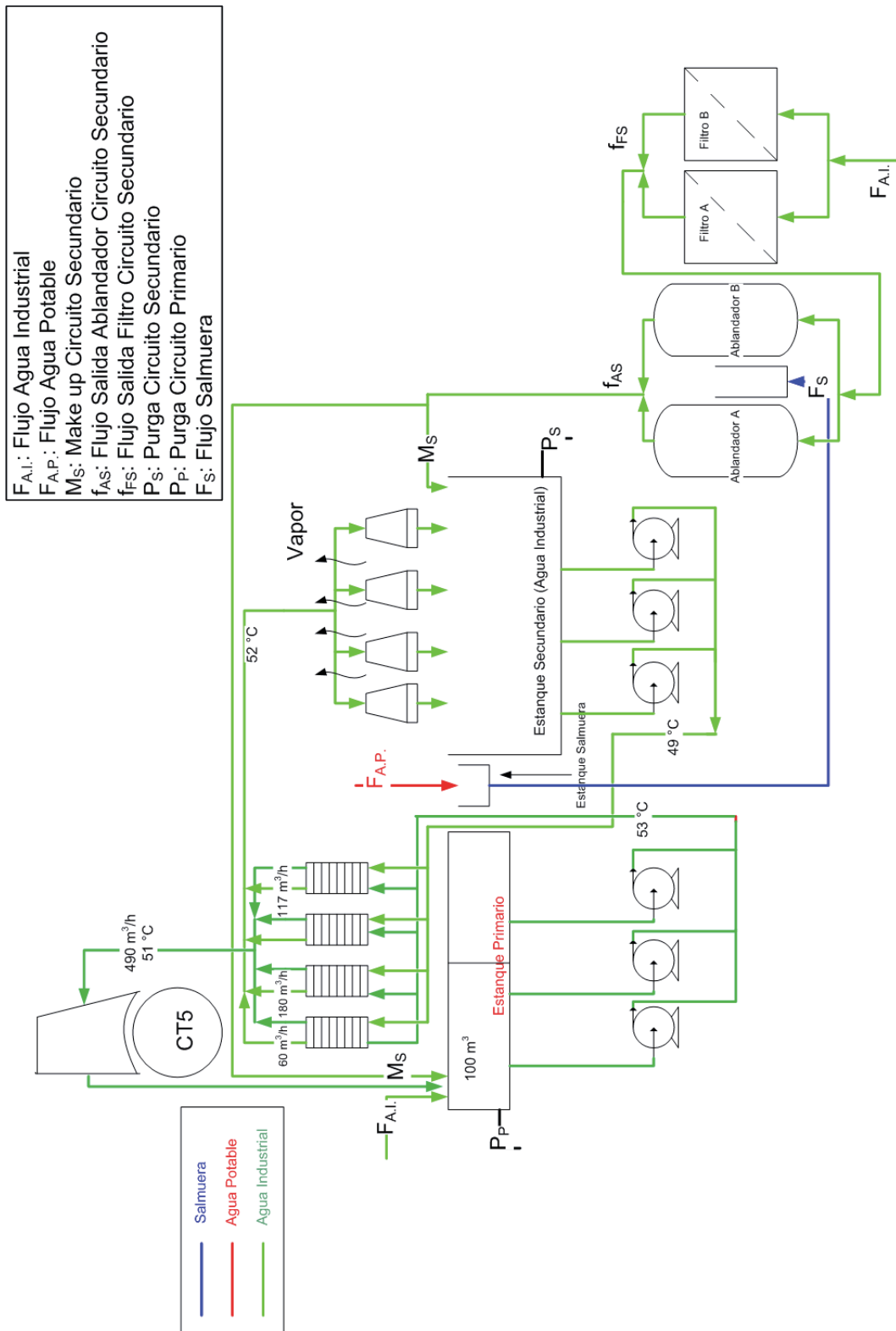


Figura 3.4: Diagrama de Flujo, Planta de Agua CT5 Actual



### 3.1.4. Situación actual Tratamiento de Agua

El tratamiento propuesto por la empresa Aguasin en el contrato, hoy no se realiza, esto se debe a los cambios operativos de la planta. Frente a estos cambios no se ha realizado aun una propuesta de tratamiento de agua para la nueva situación.

Los productos utilizados para el tratamiento químico del agua (anticorrosivos, antincrustantes, biocidas y Cloro) son agregados a los circuitos con dosis shock. El circuito primario es el más afectado, ya que su excesiva purga impide la adición del producto (anticorrosivo), programado según contrato.

Los análisis químicos para determinar el estatus de la calidad del agua tratada se realizan una vez al día (8:00 am), siendo insuficientes estos análisis diarios, ya que no existe un control del estado de los ablandadores de agua industrial y no se realizan los cambios de ablandador y filtro cuando corresponde, provocando la incorporación de agua industrial con alta dureza al sistema.

Actualmente la División decidió paralizar el tratamiento químico del agua, con el fin de que la empresa Aguasin realice una nueva propuesta de tratamiento, para las condiciones actuales de la planta.

### 3.1.5. Propuesta de mejoramiento

En primer lugar se recomienda operar el circuito primario con Agua Potable provista de la red existente y habilitar la Planta de tratamiento de Agua de este circuito.

Como opción mientras que se habilita la Planta de tratamiento de agua potable, se recomienda reponer con agua potable no tratada, ya que esta posee una dureza promedio de 50 ppm.

Con el fin de evitar la contaminación del agua de en el circuito primario, es necesario sellar el borde de la abertura del estanque, colocar una lámina que actúe como barrera para impedir que la suciedad que pudiera haber en la losa caiga al interior. Para mejorar los estados de los equipos se propuso en ambos circuitos realizar limpiezas y lavados a los estanques, con el fin de eliminar las incrustaciones que poseen y los residuos de corrosión que provocan la disminución de los flujos en el sistema. Además, se propone cambiar los elementos de filtros de las bombas (filtros de canasto), obteniendo una primera barrera para el paso de las deposiciones.

Para mejorar el control de la planta, se recomienda cambiar el sensor de nivel del estanque (sensor de presión) por un sensor de nivel de tipo ultrasónico, ya que el existente entrega un valor fijo, independiente al real de la planta, por lo que el nivel bajo no es detectado y por ende, no es posible tener reposición automática. Además para asegurar la calidad del agua tratada por Aguasin es necesario colocar instrumentación en línea para medir parámetros como pH o Sólidos totales disueltos.

En el circuito secundario se propone asegurar la reposición con agua industrial tratada (dureza inferior a 50 ppm) y tener un control sobre la planta; para esto se recomienda, al igual que en el circuito primario, cambiar el sensor de nivel del estanque (sensor de presión) por un sensor de nivel de tipo ultrasónico y colocar instrumentación en línea para medir parámetros como pH o conductividad.

### 3.2. Identificación de Brechas

A través del análisis del estado actual de la planta, se identificaron tres brechas importantes, el estado de las torres de enfriamiento, los intercambiadores de calor de placas y el sistema de tratamiento de aguas.

Las torres de enfriamiento no operan como su diseño, la disminución de temperatura generada es mucho menor a la deseada, por lo que se realizará un análisis histórico del comportamiento, para identificar posibles fallas.

De igual forma los intercambiadores de calor no operan adecuadamente, generando un gradiente de temperatura de 2°C en comparación a los 15°C de diseño, este mal funcionamiento ha generado una excesiva mantención en los intercambiadores, lo cual se traduce en un alto costo económico. Con el fin de identificar la causa raíz que genera este problema se realizará un estudio de esta condición.

Por el mal funcionamiento de los equipos mencionados anteriormente, se postula como causa raíz la calidad del agua utilizada, generando esta mala calidad problemas (corrosión, incrustación y taponamiento) en los equipos. Para lograr la aseveración de la hipótesis, se realizarán análisis químicos al agua y pruebas de funcionamiento de los equipos que componen el sistema de tratamiento.

### 3.3. Análisis de las Torres de Enfriamiento

Como se mencionó anteriormente, las torres de enfriamiento son una de las brechas encontradas, en el análisis del estado actual de la planta, debido a su mal funcionamiento (capacidad insuficiente para retirar el calor del circuito primario). Es por este motivo que en este subcapítulo se estudiará el estado de las torres; analizando el ciclo del sistema (cloruros), se cuantificará el make—up y purga del circuito; se recopilará información del comportamiento histórico de las torres, a través del programa PI System. Una vez realizado este estudio, se procederá a concluir la causa raíz del problema y se propondrá una solución, evaluando el impacto de esta.

#### 3.3.1. Medición Make-up del Circuito

Unos de los primeros inconvenientes que se presentaron al analizar el estado de las torres de enfriamiento es la ausencia de totalizadores y/o flujómetros en el circuito.

Para la determinación del flujo de agua de reposición del circuito secundario, se utilizó un flujómetro ultrasónico no invasivo portátil, marca Dynasonics serie 902 (figura 3.5 y 3.6). El resultado de la medición fue de 39 m<sup>3</sup>/h.



Figura 3.5: Flujómetro no invasivo.



Figura 3.6: Medición Make-up circuito secundario

### 3.3.2. Medición Purga del Circuito.

Al no existir un flujómetro en la purga del circuito, no existe control sobre esta.

Para analizar el comportamiento de las torres de enfriamiento es necesario conocer la cantidad de agua purgada. Es por este motivo que se determinó, utilizando un recipiente de 10 litros y midiendo el tiempo de llenado de este. Se realizaron distintas mediciones, el promedio de tiempo fueron 1 segundos. Obteniéndose un flujo de purga de  $36 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Además se analizó la calidad de agua purgada, se realizaron análisis de dureza y cloruros (los procedimientos utilizados se explican en los anexos C, pagina 99 y D, pagina 101). Los resultados obtenidos fueron los siguientes.

	Ca [ppm]	Mg [ppm]	Cl [gr/l]
Purga secundario	132,96	20,38	1,25

Tabla 3.1: Análisis calidad de agua purgada.

### 3.3.3. Determinación de Ciclos de concentración del sistema.

El objetivo de esta prueba es determinar el ciclo del sistema (concentración de cloruros), para verificar el estado de las torres de enfriamiento.

La prueba consistió en analizar algunas de las muestras obtenidas en las pruebas de los días 01 y 02 de septiembre, se realizaron análisis de dureza y cloruros; los procedimientos utilizados para el análisis se describen en los anexos C, página 99 y D, página 101.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Muestra	Ablandador A -1	Dureza [ppm]*	Dureza [ppm]**	Cl <sup>-</sup> [gr/l] ***
1	Purga 10:00	159	176,39	1,22
2	Purga 11:00	150	155,19	1,21
3	Purga 12:00	132	150,12	1,23
4	Purga 13:00	130	148,06	1,22
5	Ablandador 10:00	24	28,88	1,12
6	Ablandador 11:00	20	23,68	1,12
7	Ablandador 12:00	20	21,50	1,13
8	Ablandador 13:00	20	21,36	1,11
9	Purga 09:30	540	533,12	1,22
10	Purga 11:30	372	408,07	1,21
11	Purga 13:00	310	356,75	1,21
12	Ablandador 09:30	20	20,71	1,10
13	Ablandador 11:30	20	18,42	1,10
14	Ablandador 13:00	20	17,88	1,10

Tabla 3.2: Análisis Calidad de Agua de Ablandador A-1

\*Anexo C, página 99. \*\*Anexo C, pagina 100. \*\*\*Anexo D, página 101.

## Capítulo III Desarrollo y Resultados

---

Una vez analizado las muestras, se determinaron los ciclos del sistema:

$$\frac{M_{make}}{M_{sist}} = \frac{Cl_{sist}^-}{Cl_{make}^-} = \frac{Cl_{purga}^-}{Cl_{make}^-} \quad (3.1)$$

Ablandador A-1	Ciclo	Ablandador A-2	Ciclo
10:00	1,09	9:30	1,11
11:00	1,08	11:30	1,1
12:00	1,09	13:00	1,1
13:00	1,10		

Tabla 3.3: Ciclos de torres de enfriamiento.

Finalmente con los ciclos se determinó el porcentaje de evaporación de la torres de enfriamiento:

$$M_{Make-up} - M_{evaporación} = M_{sistema} \quad (3.2)$$

$$M_{make} \cdot Cl_{make}^- - M_{evap} \cdot Cl_{evap}^- = M_{sist} \cdot Cl_{sist}^- \quad (3.3)$$

$$M_{make} \cdot Cl_{make}^- = M_{sist} \cdot Cl_{sist}^- \quad (3.4)$$

### Ablandador A-1

Flujo Reposición [m <sup>3</sup> /h]	Flujo Purga [m <sup>3</sup> /h]	Flujo evaporada [m <sup>3</sup> /h]	Flujo de Torres Enf [m <sup>3</sup> /h]	% evaporación
39	35,80	3,20	297,32	1,08
39	36,10	2,90	297,32	0,98
39	35,83	3,17	297,32	1,07
39	35,48	3,52	297,32	1,18

Tabla 3.4: % de evaporación Torres de enfriamiento (ablandador A-1).

### **Ablandador A-2**

Flujo Reposición [m <sup>3</sup> /h]	Flujo Purga [m <sup>3</sup> /h]	Flujo evaporada [m <sup>3</sup> /h]	Flujo de Torres Enf [m <sup>3</sup> /h]	% evaporación
39	35,16	3,84	294,03	1,30
39	35,45	3,55	294,03	1,21
39	35,45	3,55	294,03	1,21

Tabla 3.5: % de evaporación Torres de enfriamiento (ablandador A-2).

Los resultados de las pruebas demuestran que las torres de enfriamiento no evaporan la cantidad de agua necesaria, en plantas similares a la analizada se obtienen ciclos de concentración de 2,5; muy superior en comparación al 1,1 de la planta de enfriamiento del Convertidor Teniente.

### **3.3.4. Comportamiento histórico de las Torres de enfriamiento.**

Debido a los resultados obtenidos en las pruebas realizadas, se recopiló información del estado de las torres de enfriamiento desde el primero de enero del año 2011 hasta octubre del mismo año, a través del programa PI System. Con el fin de apreciar el comportamiento histórico.

La temperatura promedio de ingreso a las torres es de 44,9°C; la de salida es 40,8°C. Por lo tanto el diferencial de temperatura promedio de las torres de enfriamiento es de 4,1°C. Este diferencial es inferior al de diseño, siendo este 15°C.

El Comportamiento de la torres se puede apreciar en el gráfico 3.1. El detalle de las temperaturas obtenidas se encuentran en la tabla E (Anexo E, página 104)



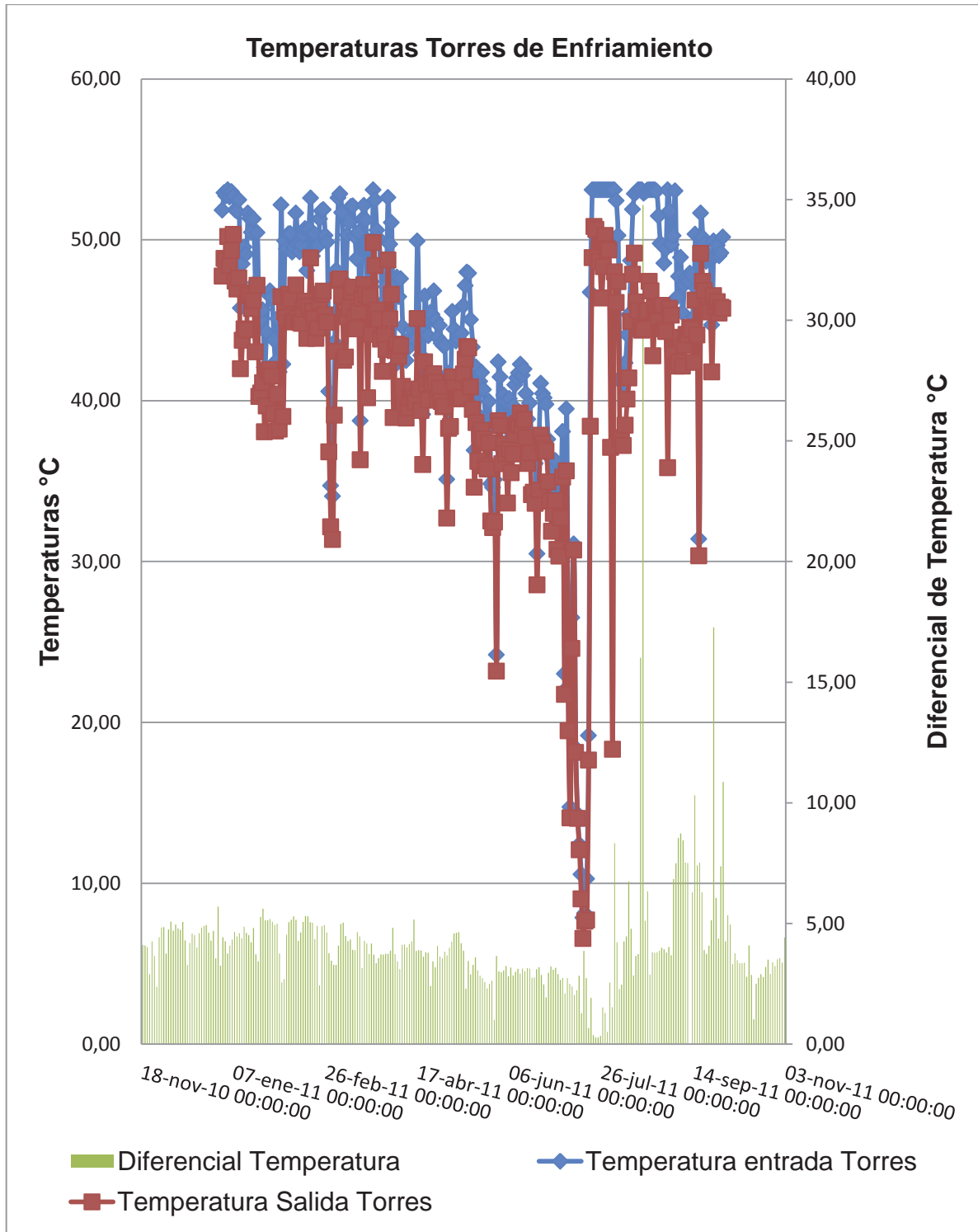


Gráfico 3.1: Comportamiento de las Torres de Enfriamiento.

### 3.3.5. Revisión del relleno de las torres de enfriamiento

A consecuencia del resultado obtenido en el comportamiento histórico de las temperaturas de las torres, se generó como hipótesis, que el mal funcionamiento correspondía al mal estado del relleno de las torres. Para confirmar dicha hipótesis se procedió a abrir las torres para observar el estado del relleno, ya estas no poseen ventanillas.

Una vez abiertas se pudo contemplar que el relleno se encuentra tapado, como se aprecia en las figuras 3.7 y 3.8.



Figura 3.7: Estado de Relleno Torres de Enfriamiento.





Figura 3.8: Relleno Torres de Enfriamiento

## Capítulo III Desarrollo y Resultados

---

Con el fin de determinar la causa raíz del estado de los rellenos, se analizó una muestra y se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 3.6: Análisis muestra de relleno.

Cu	%	0,72
Al	%	0,34
As	%	0,02
Sb	%	< 0.01
Fe	%	0,82
Ca	%	16,99
Ni	%	< 0.001
MgO	%	2,63
Pb	%	0,06
Se	%	n.d.
Te	%	n.d.
Bi	%	0,08

A través del análisis se determina que un 42,5% de la muestra es carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Por lo tanto se concluye que el estado del relleno de las torres es consecuencia de la calidad del agua de reposición que ingresa al circuito secundario de la planta, debido a que este ingresa con una dureza superior a la permitida.

### 3.3.6. Propuesta de mejoramiento y Conclusiones

Los análisis realizados, pruebas de determinación de los ciclos y el porcentaje (%) de evaporación; obtuvieron resultados inferiores a los esperados, obteniéndose un porcentaje de evaporación de 1,2%, muy inferior al deseado, según los datos operacionales de otras plantas de agua, que poseen torres de enfriamiento, como la Planta de Acido; el ciclo del sistema bordea los 2,4. Con este valor se obtiene un porcentaje de evaporación del 8%, para las torres de enfriamiento.

Con esta información se solicitó abrir las torres, con el fin de realizar una inspección visual. En esta inspección se pudo apreciar que las torres se encontraban tapadas, se analizó la sustancia que contenían las torres y el resultado fue que la muestra contenía un 42,5% de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

Para asegurar la eliminación, en el circuito secundario, del calor generado al enfriar los paneles; es necesario cambiar el relleno de las torres de enfriamiento, además elevar las torres, para favorecer la entrada de aire, ya que estas se encuentran a ras del estanque.

De manera inmediata con el fin de solucionar el problema se realizó la compra de los rellenos para las torres, y se comenzó a limpiar e instalar los nuevos rellenos. Hasta la finalización de este trabajo, se había cambiado el relleno de dos torres, obteniéndose resultados visibles, como se aprecia en el gráfico 3.2 y 3.3.

El diferencial de temperatura subió desde un  $4,1^\circ\text{C}$  a  $7,6^\circ\text{C}$  luego del cambio de relleno en el circuito secundario. En el circuito primario también hubo una mejora notoria, el calor extraído en los intercambiadores era de  $0,6^\circ\text{C}$ , y con el cambio de relleno subió a  $4,9^\circ\text{C}$ .

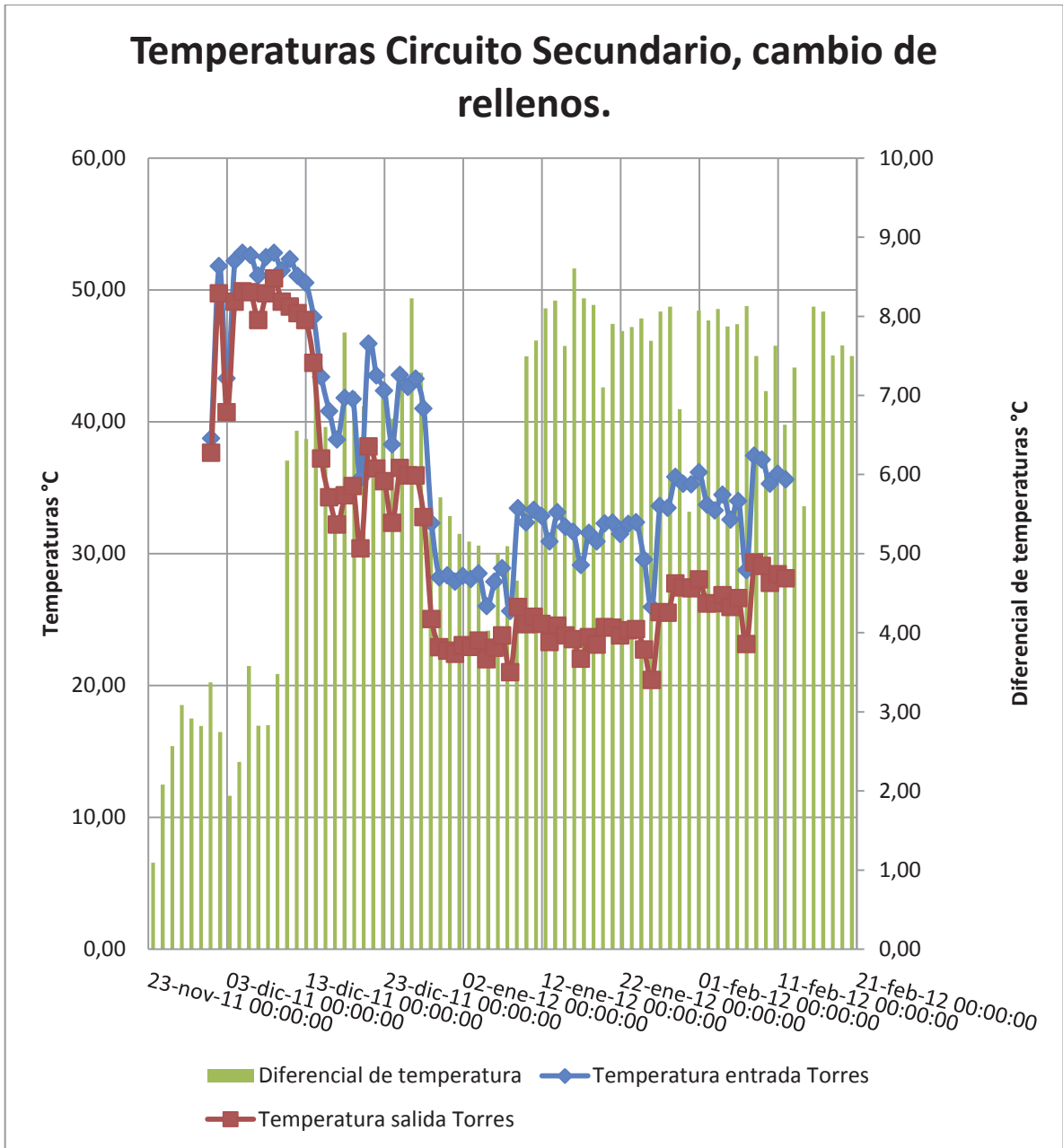


Gráfico 3.2: Temperaturas Circuito Secundario (nuevo relleno torres)

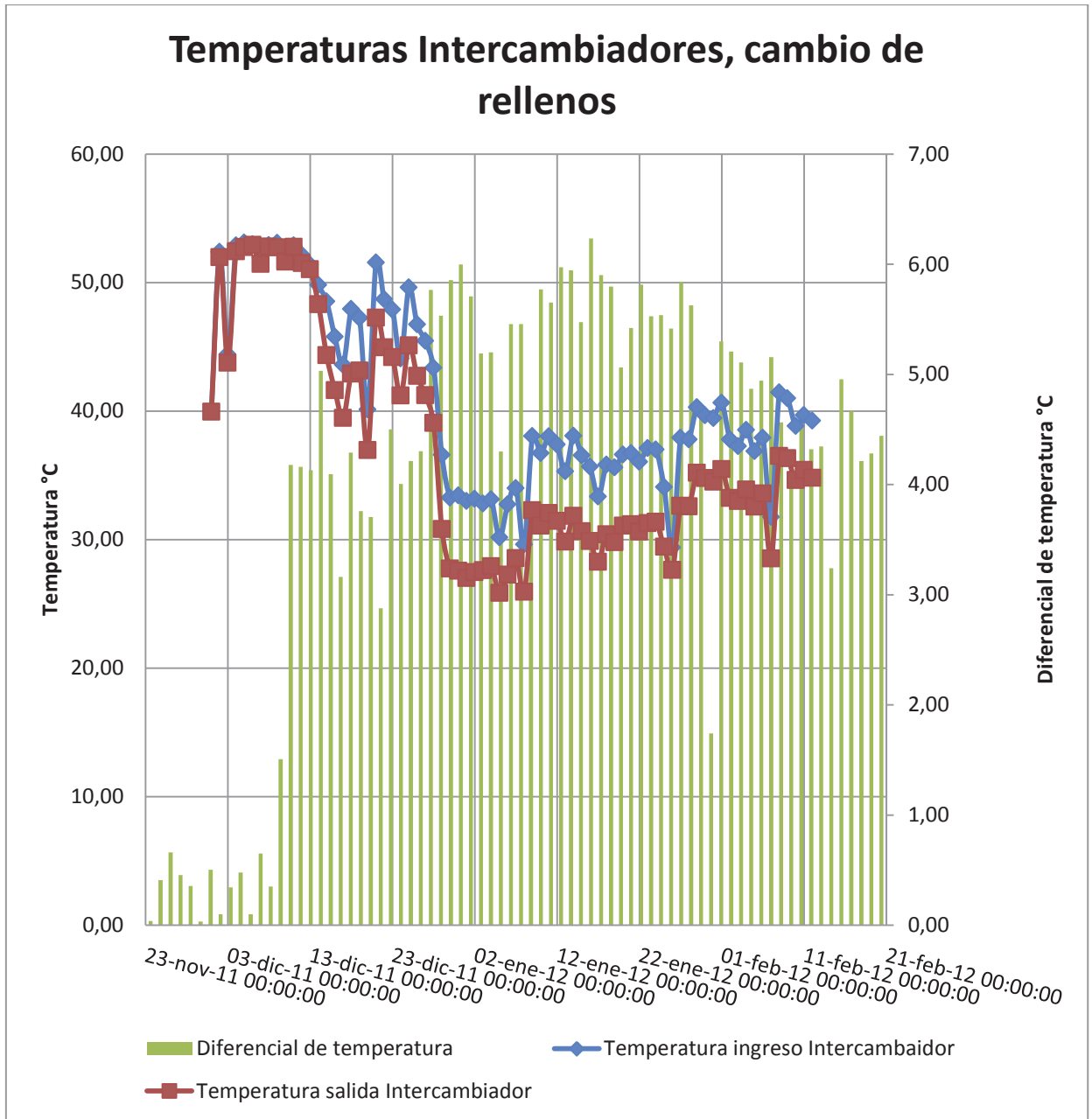


Gráfico 3.3: Temperaturas Circuito Primario (nuevo relleno torres)

### 3.4. Análisis de los Intercambiadores de Calor de Placas

Para revisar el estado de los intercambiadores de calor de placas, se realizó un estudio histórico de las temperaturas al ingreso y salida de los intercambiadores. Este estudio se efectuó a través del programa PI System de la división.

El Comportamiento de los intercambiadores se puede apreciar en el gráfico 3.4. El detalle de las temperaturas obtenidas se encuentran en la tabla F (Anexo F)

El análisis se realizó desde el uno de enero del año 2011, hasta el 30 de septiembre del mismo año. La temperatura promedio de ingreso a los intercambiadores es de 47,8°C; la de salida es 47,2°C. Por lo tanto el diferencial de temperatura promedio de los intercambiadores de calor es de 0,6°C. Este diferencial es inferior al de diseño, siendo este 15°C. El intercambio de calor es de 113,8 Kw y el equipo está diseñado para un intercambio de 3701 Kw, por lo tanto la eficiencia del equipo es del 3%.

Este estudio demostró que los intercambiadores no cumplen su función, una razón de lo anterior es el comportamiento de las torres, ya que al no enfriar el agua del circuito secundario, este no es capaz de provocar la transferencia de calor necesaria.

Actualmente el circuito primario se enfría a través del ingreso de agua fresca (agua industrial), perdiendo aproximadamente unos 6,4 °C (disminuyendo de 53,6 a 47,2°C).



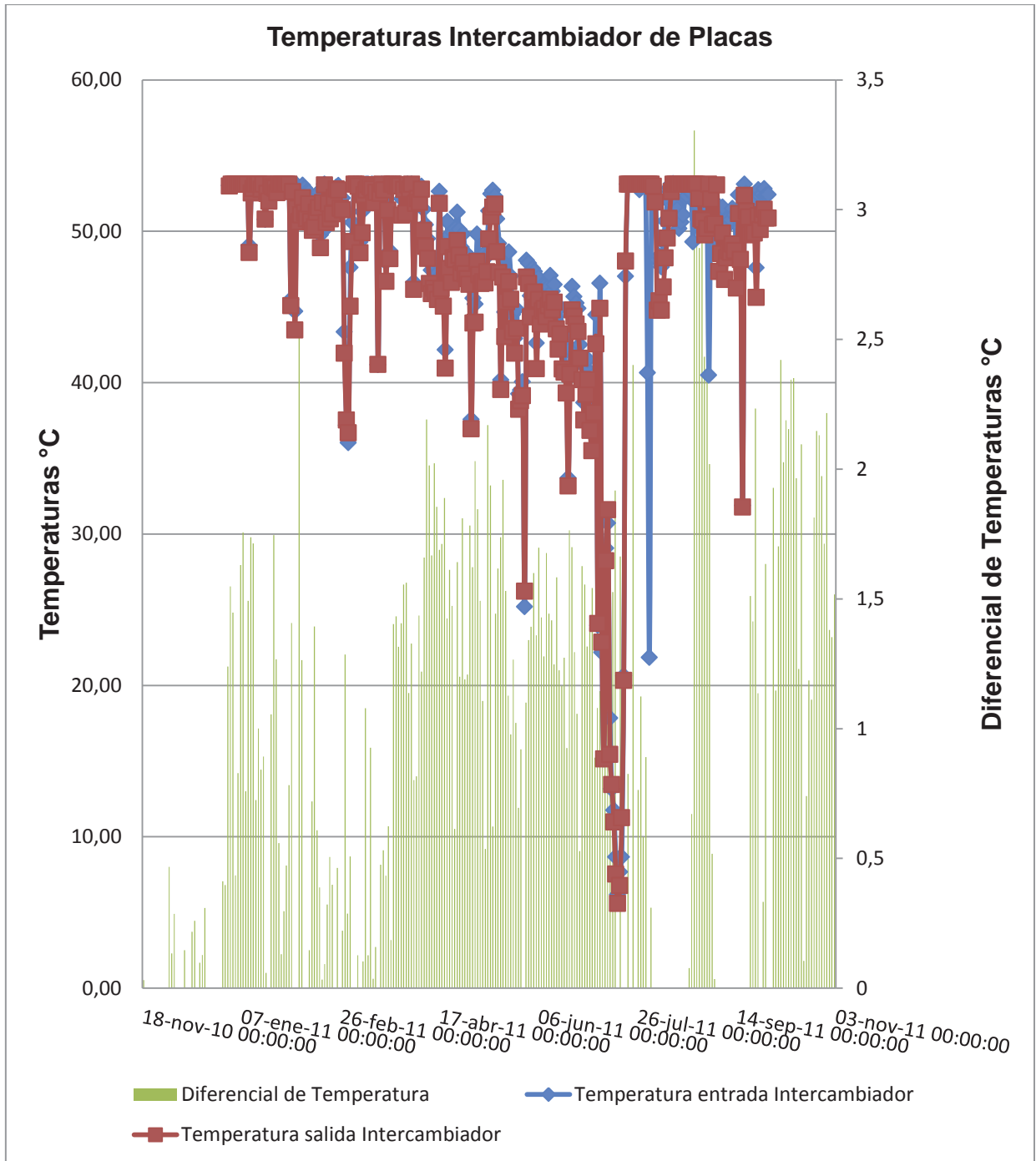


Gráfico 3.4: Comportamiento de los intercambiadores de calor, circuito primario.

### 3.4.1. Propuesta de mejoramiento y conclusiones

En relación a los intercambiadores de calor del sistema (ICA's), se recomienda un lavado químico, circuito CIP (clean in place), debido a que su eficiencia bordea el 3% se plantea como hipótesis que los equipos se encuentran incrustados, al utilizarse agua industrial no tratada con alto contenido de dureza.

Se recomendó inspeccionar las placas del intercambiador de calor; como resultado de la inspección se concluyó, que es necesario cambiar las placas, ya que se encuentran en mal estado. Por el lado del circuito primario presenta un alto nivel de corrosión y por el secundario gran cantidad de incrustaciones. Esto se debe a que el lado del circuito primario está diseñado para trabajar con agua potable y se emplea agua industrial no tratada con un alto contenido de cloruros. Para el caso del circuito secundario, el alto contenido de incrustaciones se debe al uso de agua con un alto contenido de dureza. En la actualidad no existe control sobre la dureza, ingresando agua industrial con 500 ppm al sistema.

### **3.5. Análisis Sistema de Tratamiento de Agua**

Como se mencionó en la identificación de brechas, y debido a que los problemas en las torres de enfriamiento y en los intercambiadores de calor son consecuencia del agua utilizada para enfriar los paneles; se analizará el sistema de tratamiento de agua. En este subcapítulo se estudiará en detalle el estado de los ablandadores y salmuera utilizada; además se realizará un levantamiento de piping e instrumentación. Una vez realizado el estudio, se procederá a concluir la causa raíz del problema y se propondrá una solución, evaluando el impacto de esta.

#### **3.5.1. Análisis del proceso de regeneración y el estado de la salmuera**

Este análisis consiste en dos etapas; en la primera se determinará el rendimiento de los ablandadores A-1 y A-2 de la planta de tratamiento del circuito secundario, tomando muestras cada 15 minutos y analizando la dureza de las muestras. La segunda etapa consiste en analizar la salmuera utilizada en la regeneración de los ablandadores.

## Capítulo III Desarrollo y Resultados

---

- **Rendimiento de Ablandadores.**

Se determinó el rendimiento de los ablandadores A-1 y A-2 de la Planta de tratamiento de Agua CT5, con el fin de generar regeneraciones automáticas.

Se realizó una prueba el día jueves 1 de septiembre del 2011, utilizándose el ablandador A-1. La regeneración se realizó desde las 8:00 am hasta las 9:46 am, poniéndose en servicio el equipo a las 9:48 am.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Muestra	Hora	Dureza [ppm]*	Muestra	Hora	Dureza [ppm]*
1	9:50	78	18	13:50	20
2	10:00	24	19	14:00	20
3	10:15	21	20	14:15	20
4	10:30	23	21	14:30	20
5	10:45	22	22	14:45	20
6	11:00	20	23	15:00	20
7	11:15	20	24	15:15	20
8	11:30	20	25	15:30	20
9	11:45	20	26	15:45	20
10	12:00	20	27	16:00	20
11	12:15	20	28	16:15	22
12	12:30	20	29	16:30	24
13	12:45	20	30	16:45	21
14	13:00	20	31	17:00	24
15	13:15	20	32	17:15	33
16	13:30	21	<b>33</b>	<b>17:30</b>	<b>50</b>
17	13:40	20	34	17:40	67

Tabla 3.7: Resultados Prueba Ablandador A-1

## Capítulo III Desarrollo y Resultados

Los resultados se observan con más claridad en el siguiente gráfico:

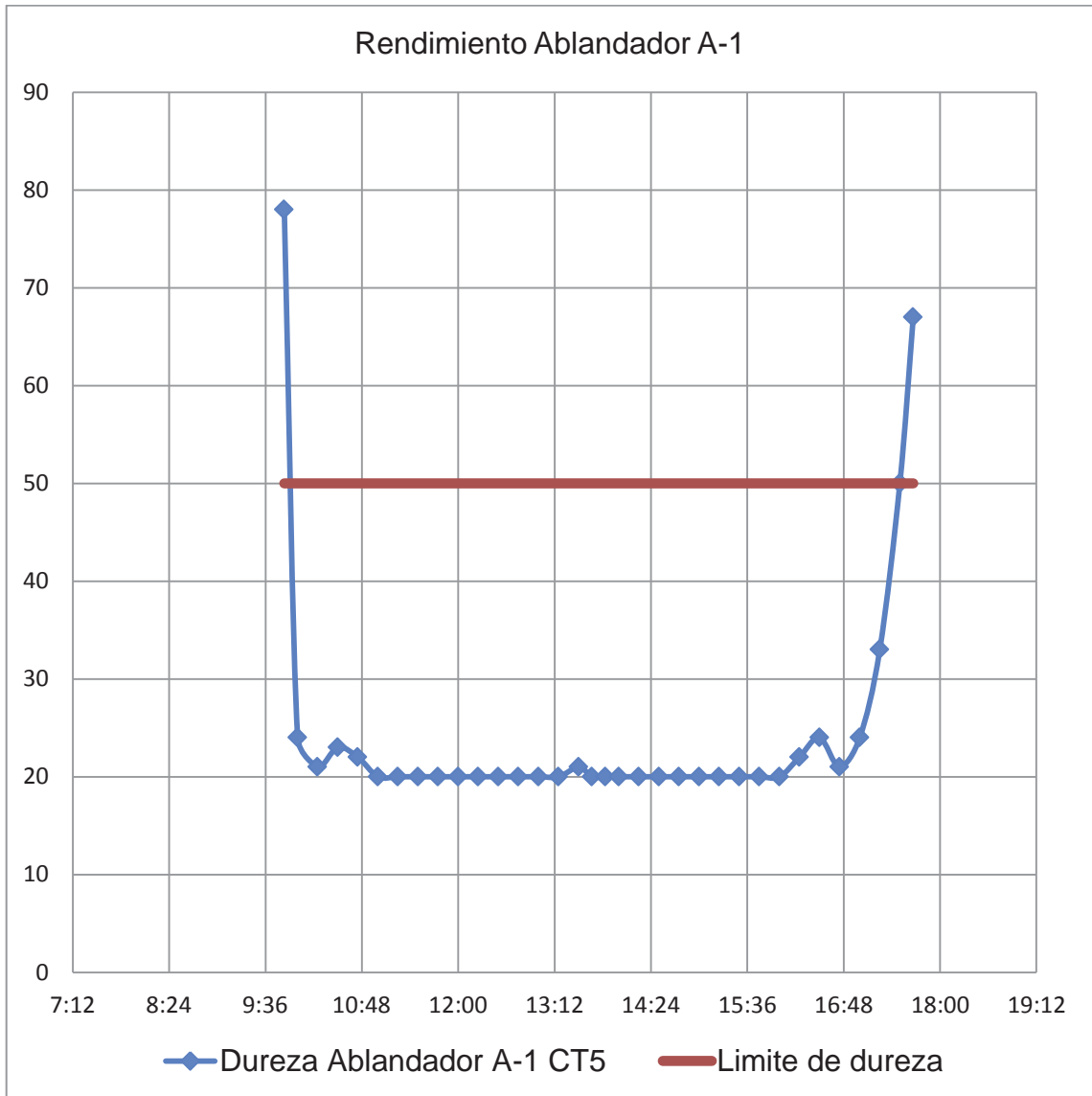


Gráfico 3.5: Rendimiento del Ablandador A-1

## Capítulo III Desarrollo y Resultados

---

Al día siguiente se repitió la prueba, pero esta vez, utilizándose el ablandador A-2.

La regeneración se realizó desde las 6:19 am hasta las 8:10 am, poniéndose en servicio el equipo a las 8:52 am.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Muestra	Hora	Dureza* [ppm]
1	8:53	37
2	9:00	22
3	9:30	20
4	10:00	20
5	10:30	20
6	11:00	20
7	11:30	20
8	12:00	20
9	12:30	20
10	13:00	20
11	13:30	20
12	14:00	20
13	14:30	20
14	15:00	23
<b>15</b>	<b>15:15</b>	<b>35</b>
16	15:30	66

Tabla 3.8: Resultados Análisis Ablandador A-2

\*Anexo C, página 100.

Los resultados se observan con más claridad en el siguiente gráfico:

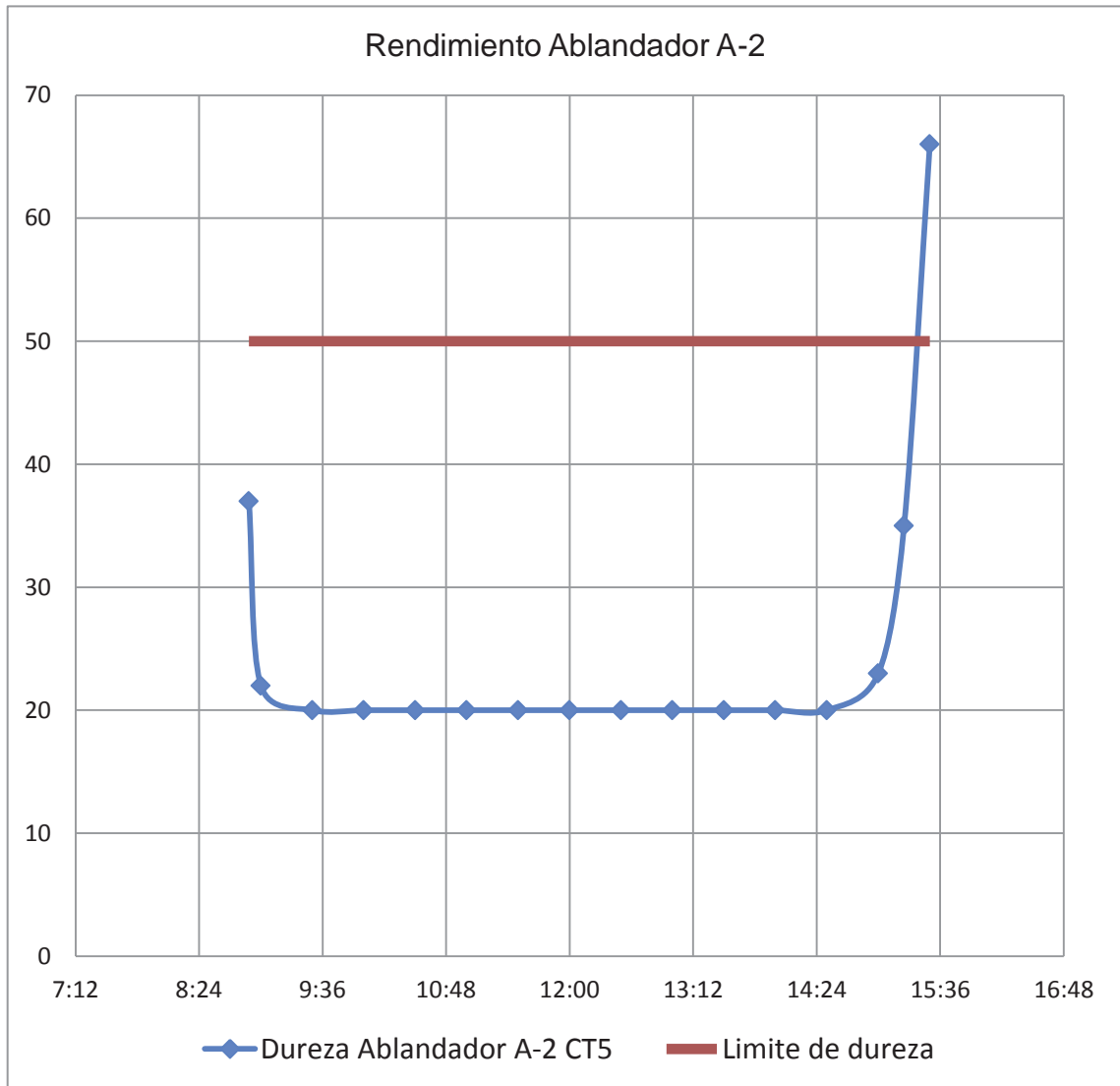


Gráfico 3.6: Rendimiento Ablandador A-2

En Resumen el funcionamiento de los ablandadores fue:

- A-1: 7 horas y 42 minutos
- A-2: 6 horas y 23 minutos

Con un flujómetro no invasivo se determinó el flujo de reposición, el cual fue de 39 m<sup>3</sup>/h.

Finalmente se obtuvieron los volúmenes máximos que soportan los equipos:

- A-1: 300,3 m<sup>3</sup>
- A-2: 248,95 m<sup>3</sup>

- **Análisis de salmuera.**

Uno de los requisitos para una regeneración adecuada de los ablandadores, es la calidad de salmuera, esta debe contener un 10% de sal.

Para analizar la calidad se tomaron diversas muestras de los estanques de salmuera, del estanque general y de los estanques de ablandadores. De estos análisis se obtuvo como resultado un 6% de sal en las muestras.

Para mejorar y obtener el 10 % de Sal se propuso utilizar sal de menor granulometría.



### 3.5.2. Levantamiento de piping e instrumentación del Circuito Primario

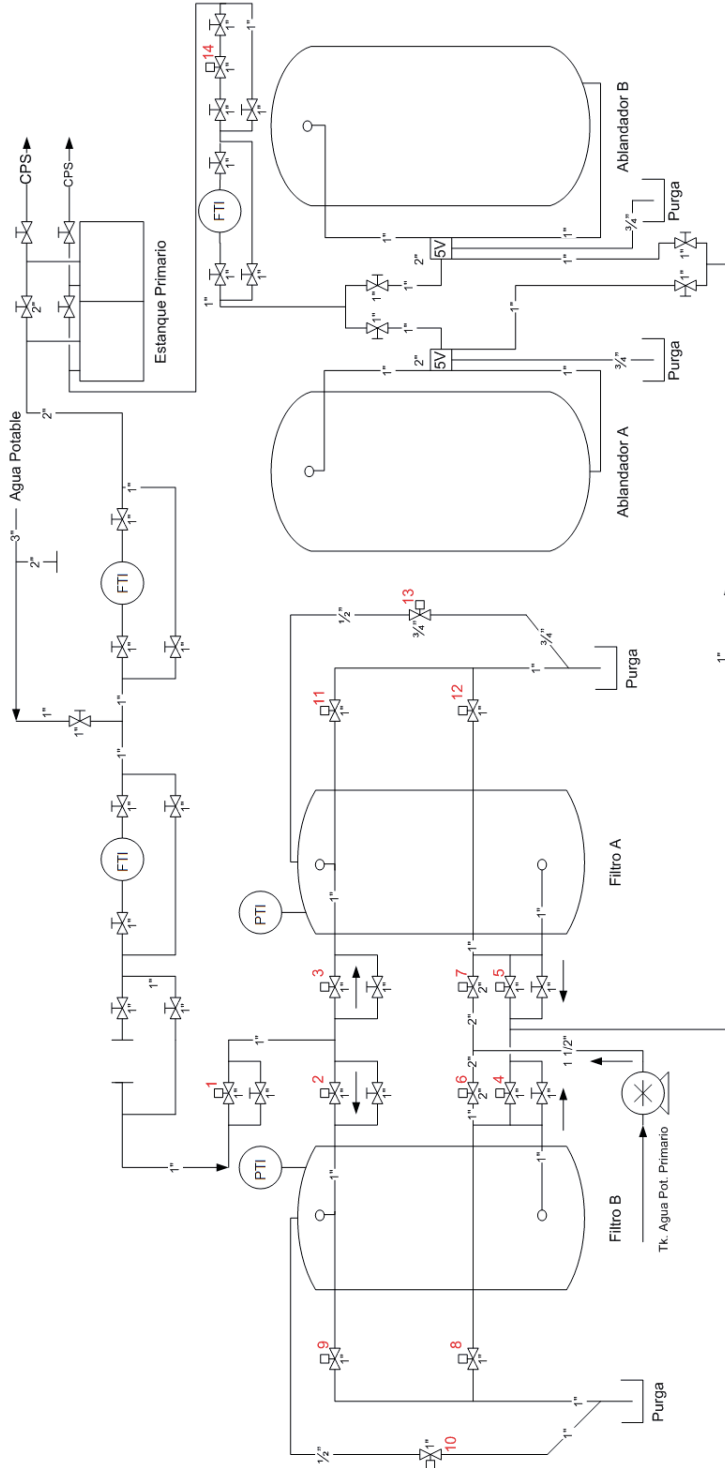
- **Levantamiento de Piping e instrumentación**

Debido a la inexistencia de planos, del Sistema de tratamiento de agua, del circuito primario. Se realizó un levantamiento en terreno del piping e instrumentación del circuito. El resultado del levantamiento se aprecia en la figura 3.9.

En la siguiente tabla se enumeran las válvulas de la figura 3.9 con su respectivo diámetro e identificación.

Tabla 3.9: Listado de Válvulas del Circuito Primario

N° Válvulas	Diámetro	TAG
1	1"	SV4106
2	1"	SV4143-G(6)
3	1"	SV4143-F
4	1"	SV4143-K
5	1"	SV4143-A
6	2"	SV4143-L
7	2"	SV4143-B
8	1"	SV4143-I
9	1"	SV4143-H
10	1"	SV4143-J
11	1"	SV4143-E
12	1"	SV4143-C
13	3/4"	SV4143-D
14	1"	SV4127



- **Verificación estado de válvulas, Flujómetros y totalizadores.**

Una vez realizado el diagrama de piping e instrumentación, se realizó un levantamiento del estatus de las válvulas y medidores de la Planta de Agua, del circuito Primario. Los resultados del estado de las válvulas se aprecian en la tabla 3.10. Identificando si las válvulas se encuentran operativas o si necesitan cambio.

Se revisaron los medidores de agua de la planta, concluyéndose que el medidor de ingreso de agua potable al sistema (medidor 1, diámetro 1”) se encuentra dañado.

Tabla 3.10: Listado de Válvulas del Circuito Primario

N° Válvulas	TAG	Estado
1	SV4106	Operativa
2	SV4143-G(6)	No Operativo
3	SV4143-F	No Operativo
4	SV4143-K	No Operativo
5	SV4143-A	No Operativo
6	SV4143-L	No Operativo
7	SV4143-B	No Operativo
8	SV4143-I	No Operativo
9	SV4143-H	No Operativo
10	SV4143-J	No Operativo
11	SV4143-E	No Operativo
12	SV4143-C	No Operativo
13	SV4143-D	No Operativo
14	SV4127	Operativo

### 3.5.3. Levantamiento de piping e instrumentación del Circuito Secundario

- Levantamiento de Piping e instrumentación

De igual forma que en el circuito primario; se realizó un levantamiento en terreno del piping e instrumentación del circuito, debido a la inexistencia de planos, del Sistema de tratamiento de agua. El resultado del levantamiento se aprecia en la figura 3.10 y 3.11.

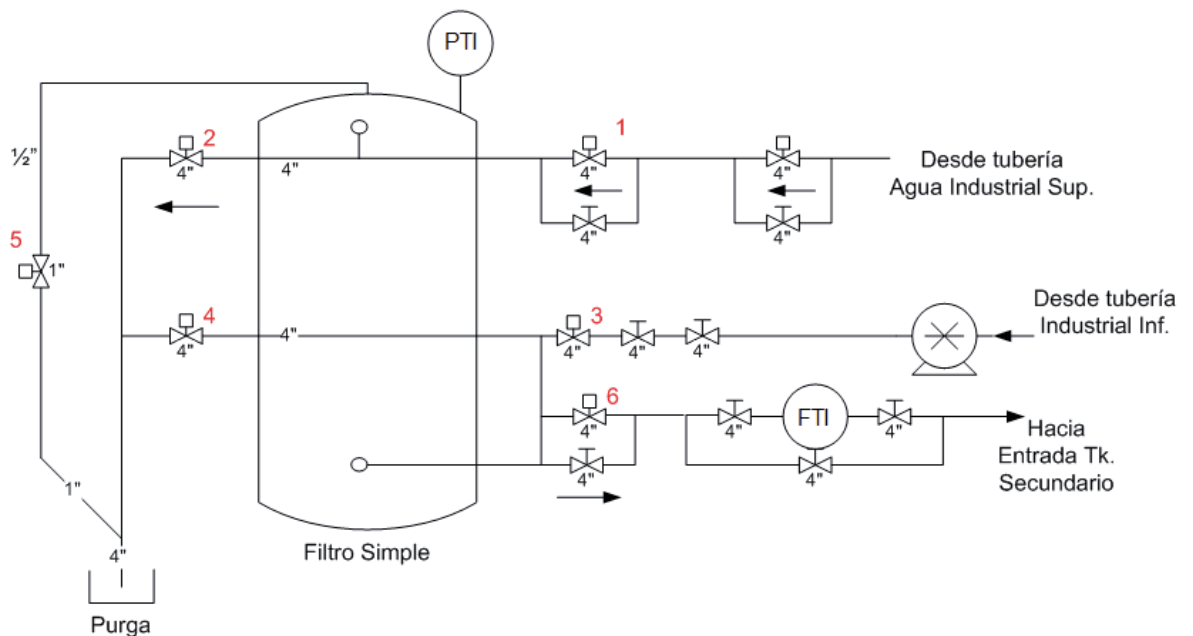


Figura 3.10: Piping e instrumentación Filtro Simple, Circuito Secundario.

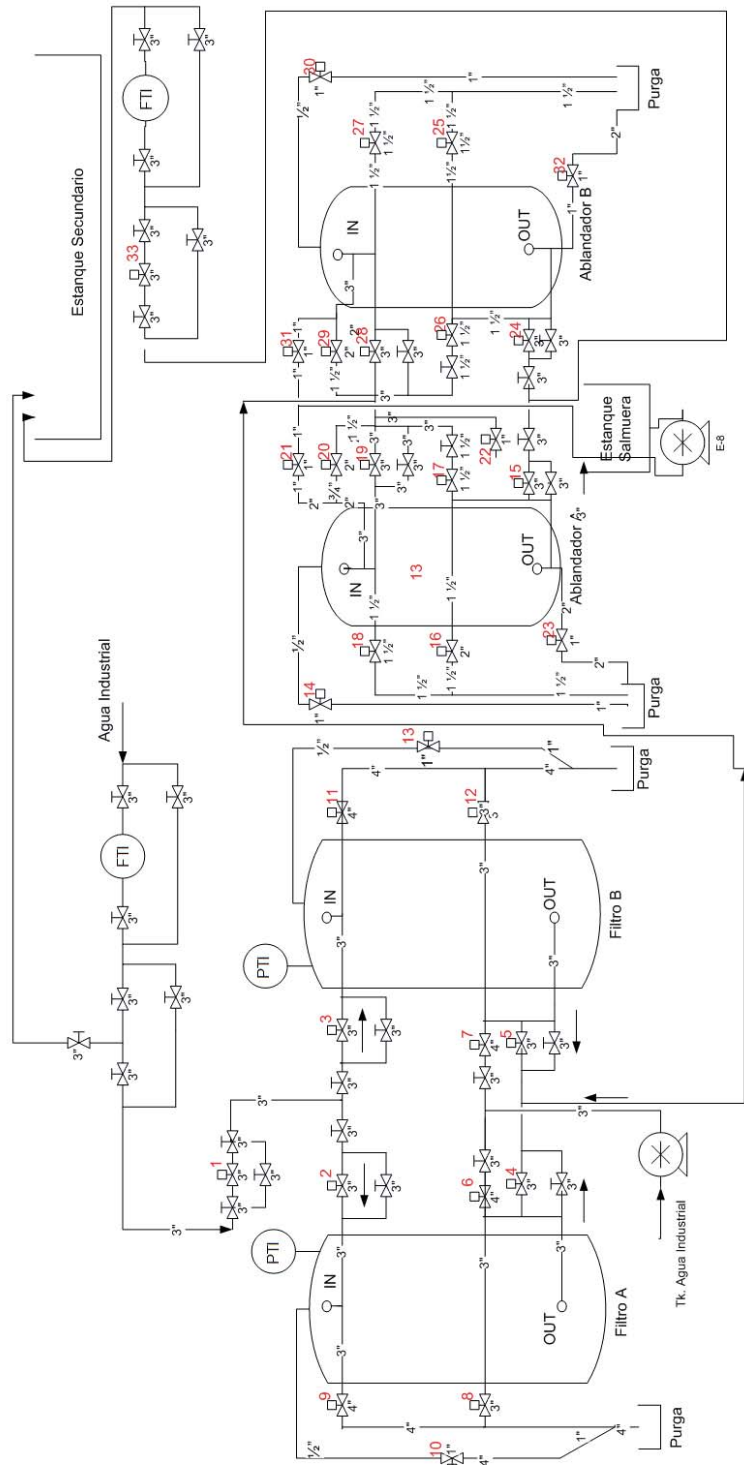


Figura 3.11: Piping e instrumentación Circuito Secundario.

## Capítulo III Desarrollo y Resultados

---

En las siguientes tablas se enumeran las válvulas de la figura 3.10 y 3.11 con su respectivo diámetro e identificación.

Tabla 3.11: Listado de Válvulas Filtro Simple Circuito Secundario

N° Válvulas	Diámetro	TAG
1	4"	SV 4119-E
2	4"	SV4119-C
3	4"	SV4119-B
4	4"	SV4119-D
5	1"	SV4119-F
6	4"	SV4119-A

Tabla 3.12: Listado de Válvulas Filtro Dúplex Circuito Secundario.

N° Válvulas	Diámetro	TAG
1	3"	SV4197-H
2	3"	SV4163-G
3	3"	SV4163-C
4	3"	SV4163-K
5	3"	SV4163-A
6	4"	SV4163-L
7	4"	SV4163-B
8	3"	SV4163-J
9	4"	SV4163-H
10	1"	SV-DSPD
11	4"	SV4163-E
12	3"	SV4163-F
13	1"	SV-DSPC

### Capítulo III Desarrollo y Resultados

---

Tabla 3.13: Listado de Válvulas Ablandadores Circuito Secundario.

N° Válvulas	Diámetro	TAG
14	1"	SVDSP-B
15	3"	SV4162-I
16	2"	SV4162-G
17	1 1/2"	SV4162-A
18	1 1/2"	SV4162-H
19	3"	SV4162-B
20	2"	SV4162-C
21	1"	SV4162-E
22	1"	SV4162-D
23	1"	SV4162-R
24	3"	SV4162-J
25	1 1/2"	SV4162-K
26	1 1/2"	SV4162-M
27	1 1/2"	SV4162-L
28	3"	SV4162-O
29	2"	SV4162-Q
30	1"	SVDSP-A
31	1"	SV4162-P
32	1"	SV4162-S
33	3"	SV4107

- **Verificación estado de válvulas, flujómetros y totalizadores.**

Una vez realizado los diagramas de piping e instrumentación, se realizó un levantamiento del estatus de las válvulas y medidores de la Planta de Agua, del circuito secundario. Los resultados del estado de las válvulas se aprecian en las tablas 3.14, 3.15 y 3.16. Identificando si las válvulas se encuentran operativas o si necesitan cambio.

Se revisaron los medidores de agua de la planta, concluyéndose que tanto el medidor del filtro simple (diámetro 4”), como los medidores de los filtros dúplex (ingreso de agua industrial a tratar; diámetro 3”) y el de los ablandadores (ingreso de agua make up al estanque; diámetro 3”) se encuentran dañados.

Tabla 3.14: Estado de Válvulas Filtro Simple Circuito Secundario

N° Válvulas	TAG	Estado
1	SV 4119-E	Operativa
2	SV4119-C	Operativa
3	SV4119-B	Operativa
4	SV4119-D	Operativa
5	SV4119-F	No Operativa
6	SV4119-A	Operativa



### Capítulo III Desarrollo y Resultados

---

Tabla 3.15: Listado de Válvulas Filtro Dúplex Circuito Secundario.

N° Válvulas	TAG	Estado
1	SV4197-H	Operativa
2	SV4163-G	Operativa
3	SV4163-C	Operativa
4	SV4163-K	Operativa
5	SV4163-A	Operativa
6	SV4163-L	Operativa
7	SV4163-B	Operativa
8	SV4163-J	Operativa
9	SV4163-H	Operativa
10	SV-DSPD	No Operativa
11	SV4163-E	Operativa
12	SV4163-F	Operativa
13	SV-DSPC	No Operativa

### Capítulo III Desarrollo y Resultados

---

Tabla 3.16: Listado de Válvulas Ablandadores Circuito Secundario.

N° Válvulas	TAG	Estado
14	SVDSP-B	Operativa
15	SV4162-I	Operativa
16	SV4162-G	Operativa
17	SV4162-A	Operativa
18	SV4162-H	Operativa
19	SV4162-B	Operativa
20	SV4162-C	Operativa
21	SV4162-E	No Operativa
22	SV4162-D	Operativa
23	SV4162-R	No Operativa
24	SV4162-J	Operativa
25	SV4162-K	Operativa
26	SV4162-M	Operativa
27	SV4162-L	Operativa
28	SV4162-O	Operativa
29	SV4162-Q	Operativa
30	SVDSP-A	Operativa
31	SV4162-P	Operativa
32	SV4162-S	No Operativa
33	SV4107	Operativa

### 3.5.4. Propuesta de Mejoramiento y Conclusiones

La propuesta para el Circuito Primario, consiste en habilitar la Planta de tratamiento de Agua de este circuito y trabajar con agua potable. Para esto es necesario analizar la disponibilidad de este recurso en la división.

- **Análisis disponibilidad Agua potable.**

#### **Determinación de Agua potable disponible en los estanques de Quebrada Larga.**

En primer lugar se determinó los Flujos promedios de entrada y salida de los estanque de Quebrada Larga, a través de los datos obtenidos por PI System, desde el 1 de agosto hasta el 13 de septiembre.

Los datos obtenidos fueron:

Flujo entrada Promedio:	643,59 m <sup>3</sup> /día
Flujo Salida Promedio:	786,61 m <sup>3</sup> /día

Como se puede apreciar existe una diferencia de -143 m<sup>3</sup>/día. Pero existe un flujo de ingreso de agua potable no contabilizado por PI System.

Este flujo se determinó por medio de los niveles del estanque, ya que estos en el trascurso de los meses han ido aumentando, los resultados se muestran a continuación:

## Capítulo III Desarrollo y Resultados

---

Promedio caudal no registrado:	277,54 m <sup>3</sup> /día
<b>Promedio Caudal Libre:</b>	<b>134,52 m<sup>3</sup>/día</b>

Además del caudal libre por día, se calculó el agua disponible por una sola vez, que consiste en bajar los niveles del estanque hasta el mínimo (3 m).

Altura disponible 1 vez c/estanque:	2,63 m
Volumen disponible 1 vez c/estanque:	1052 m <sup>3</sup>
<b>Volumen total libre:</b>	<b>2104 m<sup>3</sup></b>

### **Determinación de agua necesaria para el circuito Primario**

Una vez calculado la cantidad de agua disponible, se determinó la cantidad de agua necesaria, para la reposición del circuito primario. Para esto fue necesario determinar la cantidad de agua purgada. Ya que al ser un sistema cerrado (sin evaporación), la cantidad purgada será igual a la reposición.

Del mismo modo que en el circuito secundario, se utilizó un recipiente de 10 litros y midiendo el tiempo de llenado de este. Debido a la inexistencia de flujómetro o totalizador.

Se realizaron distintas mediciones, el promedio de tiempo fueron 2 segundos. Obteniéndose un flujo de purga de 18 m<sup>3</sup>/h.

Además se analizó la calidad de agua purgada, se realizaron análisis de dureza y cloruros (los procedimientos utilizados se explican en los anexos C, pagina 99 y D, pagina 101). Los resultados obtenidos fueron los siguientes.

## Capítulo III Desarrollo y Resultados

---

	Ca [ppm]	Mg [ppm]	Cl [gr/l]
Purga Primario	129,91	31,06	1,53

Tabla 3.17: Análisis calidad de agua purgada circuito Primario.

Por diseño este circuito trabaja con agua potable. Pero con lo demostrado en el análisis, el agua utilizada es agua industrial no tratada, con un alto contenido de dureza.

Para evaluar la posibilidad de volver a trabajar con agua potable, fue necesario analizar a través de un balance, si la cantidad de agua necesaria está disponible.

Como se calculo anteriormente el caudal disponible de agua potable en la fundición es de 134 m<sup>3</sup>/día, mientras que la purga del circuito primario es de 432 m<sup>3</sup>/día (Figura 3.12).

La diferencia es de 298 m<sup>3</sup>/día faltantes para cumplir con el requerimiento. Por este motivo se evaluó la posibilidad de cambiar el sistema de refrigeración de la sala centralizada de la fundición, la cual en la actualidad utiliza un caudal de 260 m<sup>3</sup>/día.

Frente a este nuevo escenario, solo faltaría 38 m<sup>3</sup>/día, para cumplir con el requerimiento. Pero al mejorar la planta, la purga del circuito primario debería disminuir, ya que en la actualidad este circuito, sólo se purga con el fin de disminuir la temperatura, con el ingreso de agua fresca.



Figura 3.12: Purga Circuito Primario.

A través de este análisis, se determinó que la división posee el agua potable necesaria para ser utilizada en la planta. Por este motivo, es necesario habilitar el sistema de tratamiento de este circuito. En primer lugar se cambiarán todas las válvulas que no se encuentran operativas, las cuales se especifican en la tabla 3.10

Una vez reemplazadas las válvulas, se realizarán unos ajustes en el piping del circuito, para alimentarlo con agua potable. Además se instalará una línea de agua de emergencia, en el caso que el circuito necesite una mayor cantidad que la entregada por la planta de tratamiento. Esta línea será de 2" de diámetro y estará conectada a un medidor de flujo para lograr un control en el consumo. La propuesta se puede observar en la figura 3.13.

## Capítulo III Desarrollo y Resultados

---

Para mejorar el control de la planta, se recomienda cambiar el sensor de nivel del estanque (sensor de presión) por un sensor de nivel de tipo ultrasónico, ya que el existente entrega un valor fijo, independiente al real de la planta, por lo que el nivel bajo no es detectado y por ende, no es posible tener reposición automática. Además para asegurar la calidad del agua tratada por Aguasin es necesario colocar instrumentación en línea para medir parámetros como pH o conductividad.

En la figura 3.14 se observa la propuesta de instrumentación. Esta consiste en tener un indicador de presión a la salida de los filtros, un medidor de ion calcio a la salida de los ablandadores, válvulas con control automático a la entrada de agua potable y en la purga. Además de sensores de niveles, temperatura y pH-metro en el estanque. La filosofía de control de la válvula de entrada se relaciona inversamente con el nivel del estanque. Mientras que el control de la válvula de purga tiene relación con los parámetros de temperatura y pH; si la temperatura del sistema aumenta la válvula se abre. En el caso del pH, si este disminuye, se abre; en ambos casos para permitir el ingreso de agua fresca.

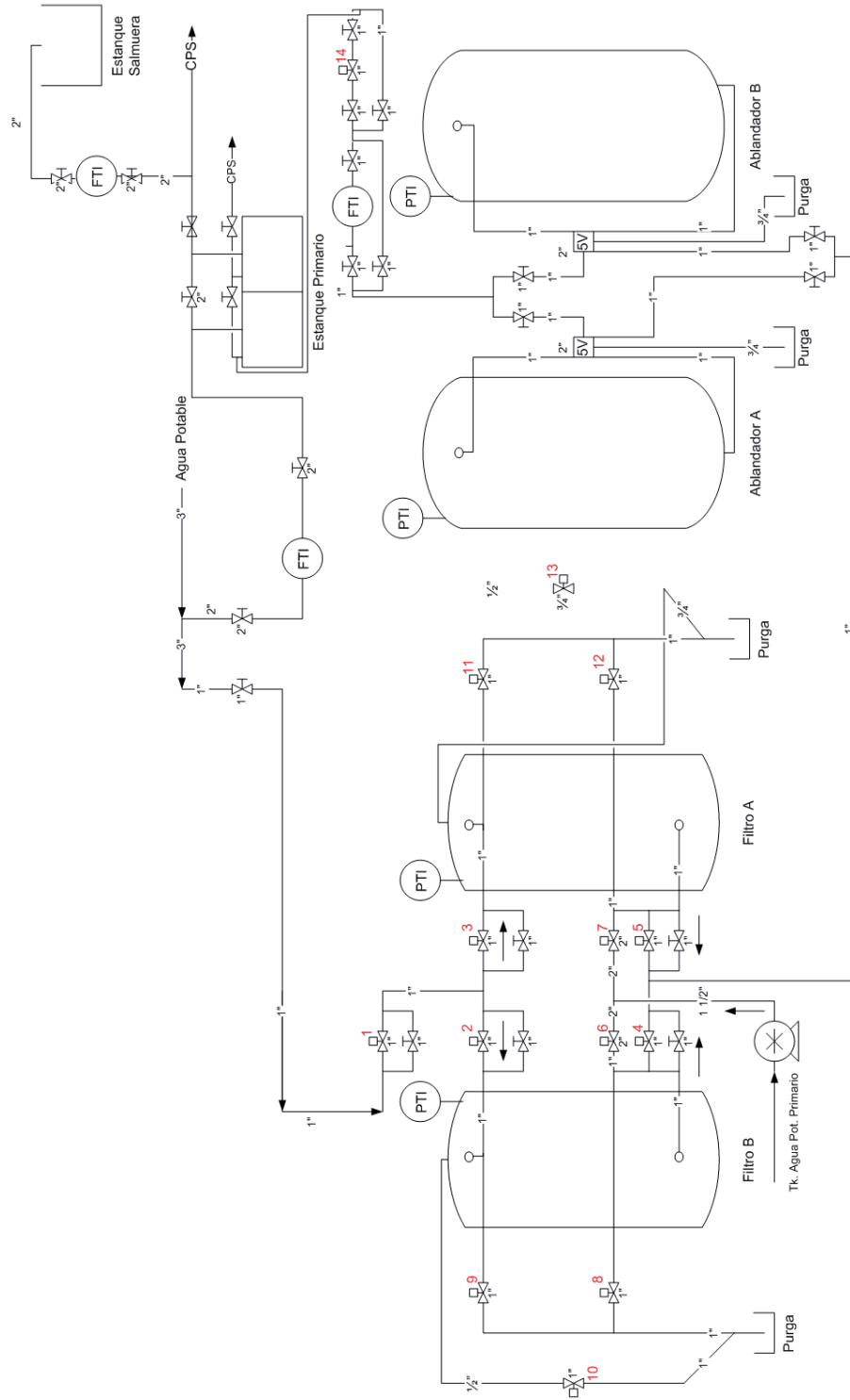


Figura 3.13: Propuesta de piping e instrumentación Circuito Primario.



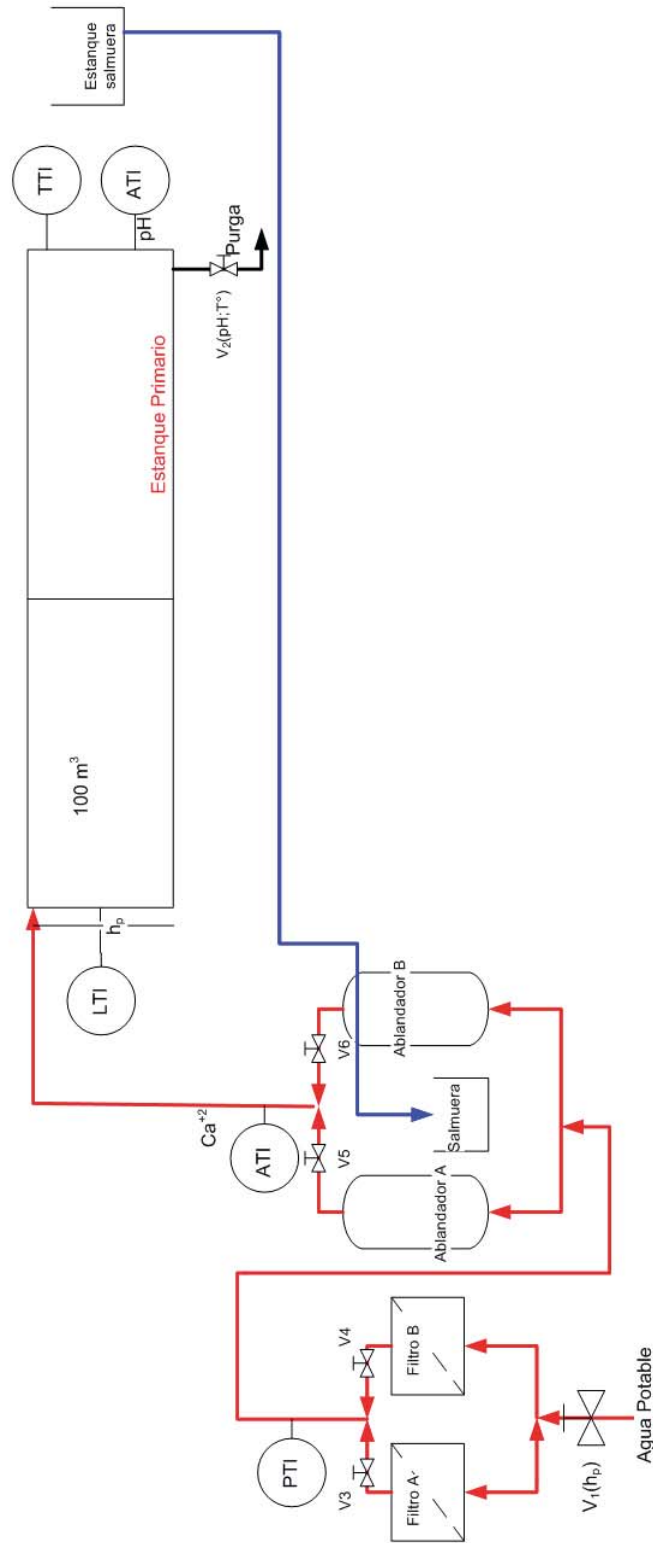


Figura 3.14: Propuesta de instrumentación Circuito Primario.

## Capítulo III Desarrollo y Resultados

---

Para el Circuito Secundario, se propone asegurar la reposición con agua industrial tratada (dureza inferior a 50 ppm) y tener un control sobre la planta. Para esto, es necesario realizar unos ajustes de piping e instrumentación (figura 3.15 y 3.16).

En primer lugar se deben reemplazar las válvulas que no se encuentran operativas, mencionadas anteriormente en las tablas 3.14, 3.15 y 3.16. Una vez reemplazadas, se realizarán los ajustes en el piping del circuito. Se cambiarán los dos flujómetros que no se encuentran en un buen estado. Además uno de estos se cambiará de posición con el fin de registrar la cantidad de agua en la línea de emergencia. Estos cambios se realizan para lograr un control sobre el agua tratada por Aguasin. En el caso del filtro simple se cambiará el flujómetro que no está operativo y se instalará un medidor de presión para programar el retro lavado automático.

Para mejorar el control de la planta, se recomienda cambiar el sensor de nivel del estanque (sensor de presión) por un sensor de nivel de tipo ultrasónico, ya que el existente entrega un valor fijo, independiente al real de la planta, por lo que el nivel bajo no es detectado y por ende, no es posible tener reposición automática. Además para asegurar la calidad del agua tratada por Aguasin es necesario colocar instrumentación en línea para medir parámetros como pH o Sólidos totales disueltos.

En la figura 3.17 se observa la propuesta de instrumentación. Esta consiste en tener un indicador de presión a la salida de los filtros, un medidor de ion calcio a la salida de los ablandadores, válvulas con control automático a la entrada de agua industrial y en la purga. Además de sensores de niveles y conductímetro en el estanque. La filosofía de control de la válvula de entrada se relaciona inversamente con el nivel del estanque. Mientras que el control de la válvula de purga tiene relación directa con la conductividad del sistema; si esta aumenta la válvula se abre.

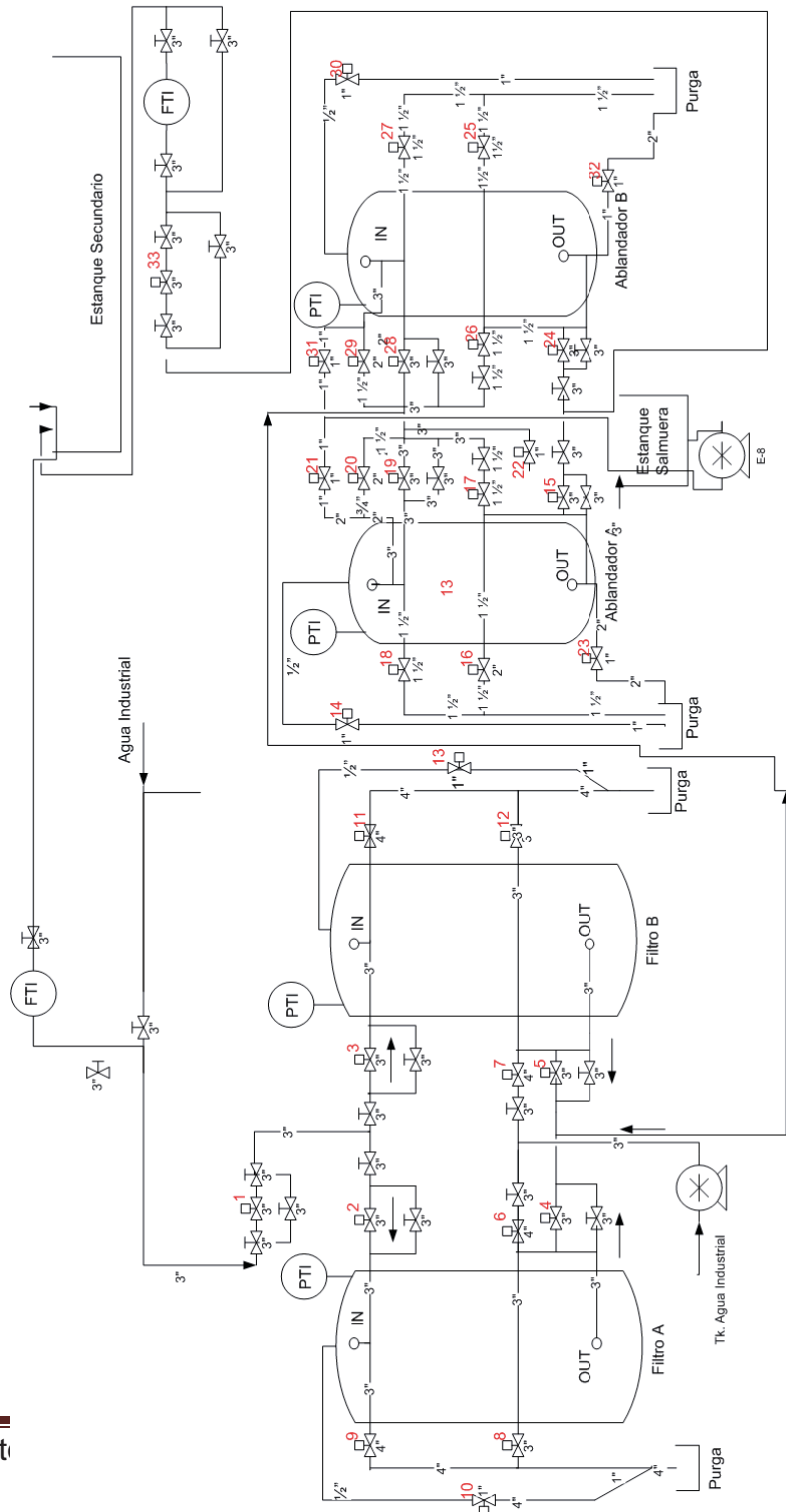


Figura 3.15: Propuesta de Piping e instrumentación Circuito Secundario.

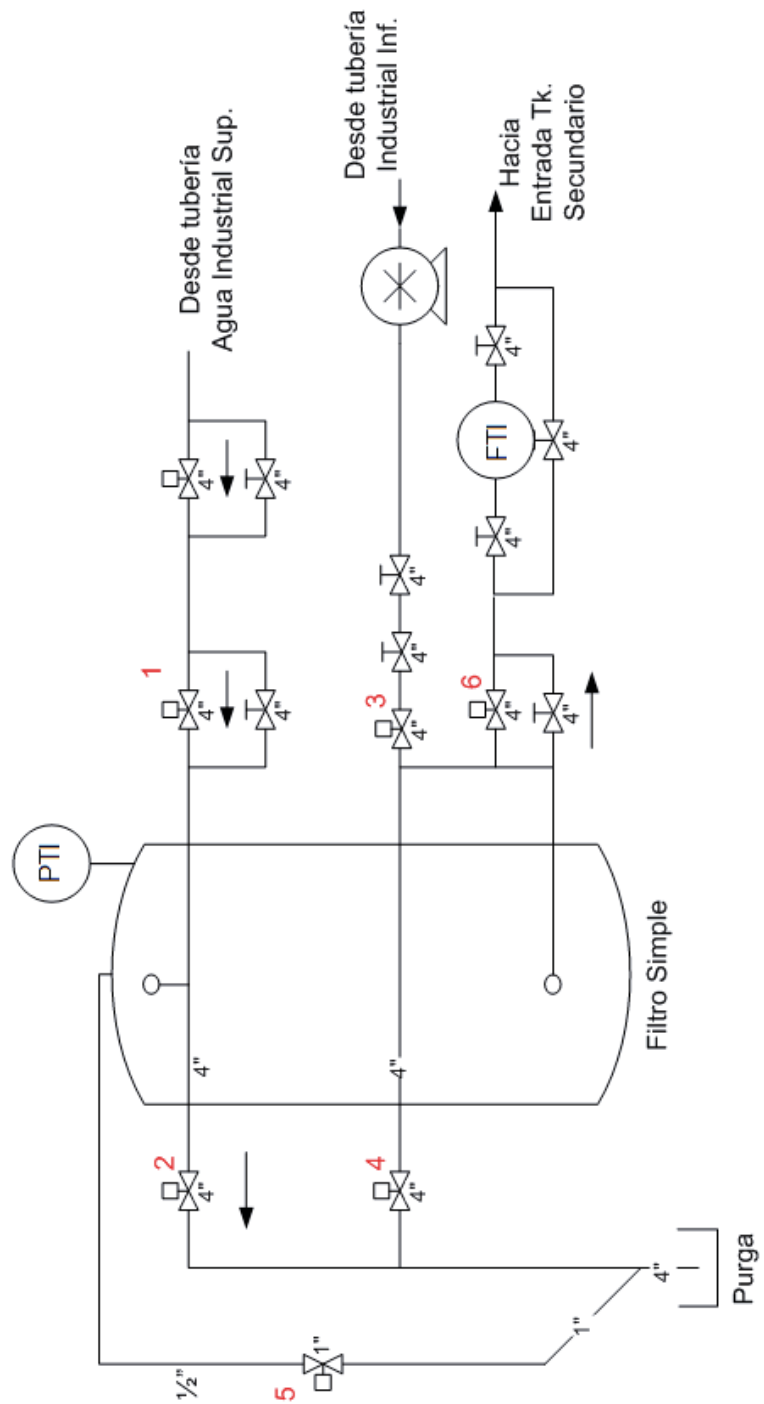


Figura 3.16: Propuesta de Piping e instrumentación Filtro Simple.



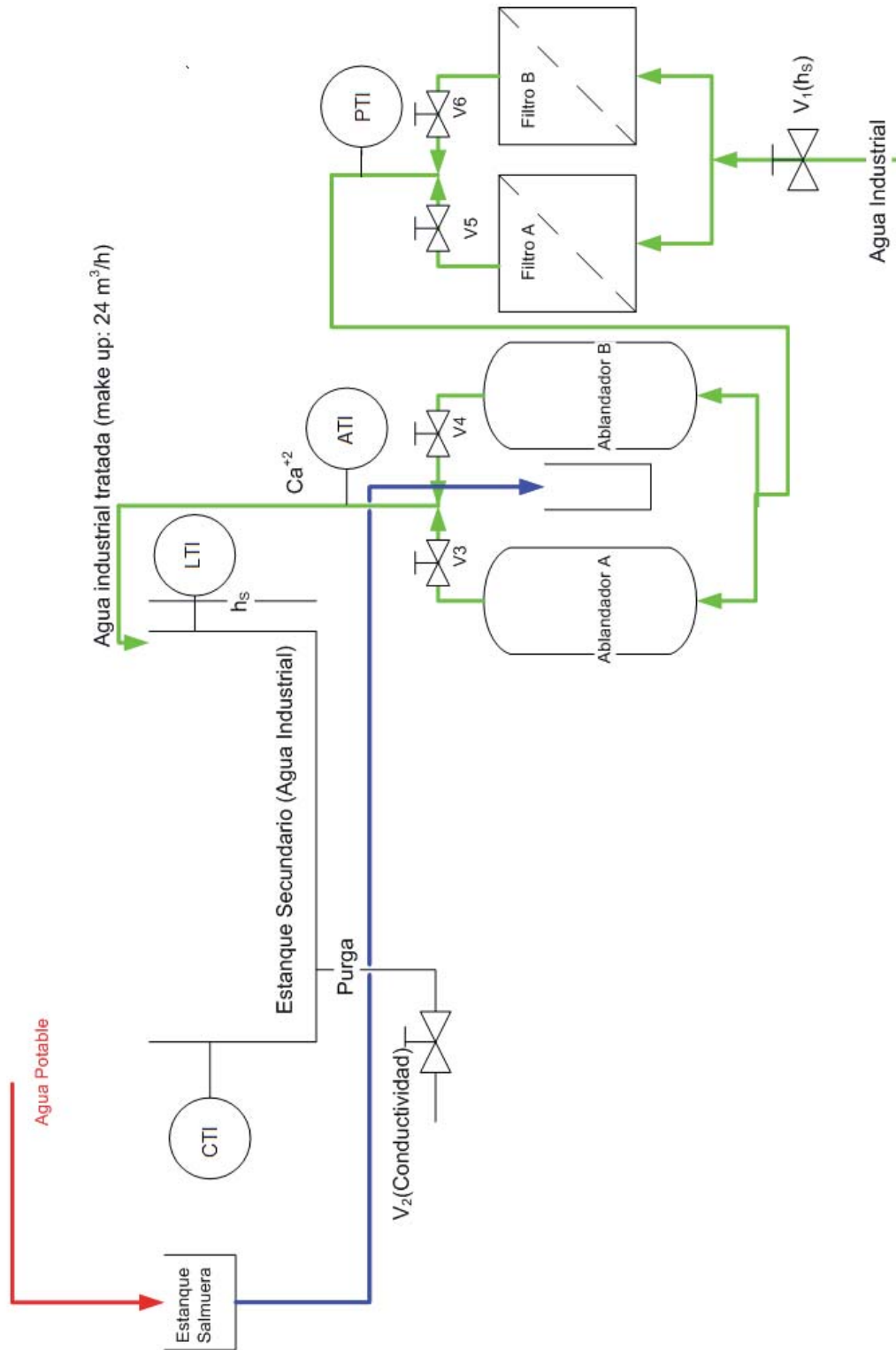


Figura 3.17: Propuesta de instrumentación Circuito Secundario.

## Capítulo III Desarrollo y Resultados

---

Como opción mientras que se instala el medidor de ion Calcio, se recomienda programar regeneraciones automáticas, asegurando la calidad del agua de reposición, generando una disminución en la dureza del sistema. Los rendimientos en volumen de los ablandadores son Ablandador A-1: 280 m<sup>3</sup> y A-2: 240 m<sup>3</sup>.

Además es necesario habilitar un sistema de agitación para el estanque de salmuera y utilizar sal de menor granulometría, para así asegurar el porcentaje de sal necesaria para los procesos de regeneración.

### 3.6. Propuesta de Mejoramiento

Como propuesta de mejoramiento se recomienda trabajar según modelo de diseño y colocar la instrumentación necesaria, para llevar un control de la planta.

Para el Circuito Primario se recomienda operar con agua potable provista de la red existente y habilitar la planta de tratamiento de agua de este circuito; cambiando las válvulas que no se encuentran operativas. Una vez reemplazadas las válvulas, se realizarán unos ajustes en el piping del circuito, para alimentarlo con agua potable. Además se instalará una línea de agua de emergencia, en el caso que el circuito necesite una mayor cantidad que la entregada por la planta de tratamiento.

Como opción mientras que se habilita la Planta de tratamiento de agua potable, se recomienda reponer con agua potable no tratada, ya que esta posee una dureza promedio de 50 ppm.

En relación a los intercambiadores de calor del sistema (ICA's), se recomienda un lavado químico, circuito CIP (clean in place), debido a que estos se encuentran incrustados, al utilizarse agua industrial no tratada con alto contenido de dureza.

Con el fin de evitar la contaminación del agua de este circuito, es necesario sellar el borde de la abertura del estanque, colocar una lámina que actúe como barrera para impedir que la suciedad que pudiera haber en la losa caiga al interior.

Para mejorar el control de la planta, se recomienda cambiar el sensor de nivel del estanque (sensor de presión) por un sensor de nivel de tipo ultrasónico, ya que el existente entrega un valor fijo, independiente al real de la planta, al estar al fondo del estanque puede ensuciarse fácilmente, por lo que el nivel bajo no es detectado y por ende, no es posible tener reposición automática. Además para asegurar la calidad del agua tratada por Aguasin es necesario colocar instrumentación en línea para medir parámetros como pH o conductividad.



## Capítulo III Desarrollo y Resultados

---

En el caso del Circuito Secundario, se propone asegurar la reposición con agua industrial tratada (dureza inferior a 50 ppm) y tener un control sobre la planta. Para esto, es necesario realizar unos ajustes de piping e instrumentación; se deben reemplazar las válvulas que no se encuentran operativas. Una vez reemplazadas, se realizarán los ajustes en el piping del circuito. Se cambiarán los dos flujómetros que no se encuentran en un buen estado. Además uno de estos se cambiará de posición con el fin de registrar la cantidad de agua en la línea de emergencia. Estos cambios se realizan para lograr un control sobre el agua tratada por Aguasin. En el caso del filtro simple se cambiará el flujómetro que no está operativo y se instalará un medidor de presión para programar el retro lavado automático.

Para mejorar el control de la planta, se recomienda cambiar el sensor de nivel del estanque (sensor de presión) por un sensor de nivel de tipo ultrasónico, ya que el existente entrega un valor fijo, independiente al real de la planta, por lo que el nivel bajo no es detectado y por ende, no es posible tener reposición automática. Además para asegurar la calidad del agua tratada por Aguasin es necesario colocar instrumentación en línea para medir parámetros como pH o conductividad.

Como opción mientras que se instala el medidor de ion Calcio (analizador de dureza ion  $\text{CaCO}_3$ , marca HACH, que señala inmediatamente la aparición de dureza para activar la regeneración), se recomienda programar regeneraciones automáticas, asegurando la calidad del agua de reposición, generando una disminución en la dureza del sistema. Los rendimientos en volumen de los ablandadores son Ablandador A-1:  $280 \text{ m}^3$  y A-2:  $240 \text{ m}^3$ .

Además es necesario habilitar un sistema de agitación para el estanque de salmuera y utilizar sal de menor granulometría, para así asegurar el porcentaje de sal necesaria para los procesos de regeneración.

Al igual que en el circuito primario, es deberá realizar una limpieza de los intercambiadores de calor (ICA's), ya que se ha operado con agua industrial de

## Capítulo III Desarrollo y Resultados

---

mayor dureza a la recomendada, por lo tanto existen incrustaciones en estos equipos.

En relación con las torres de enfriamiento es necesario realizar un cambio de relleno, como se demostró anteriormente, en los análisis de temperaturas, las torres no poseen la misma capacidad de transferencia de calor que el diseño de estas, esto se debe a que el relleno de estas se encuentran tapados. Se recomienda además elevar las torres un metro de altura, para favorecer la circulación de aire; estas en la actualidad se encuentran a ras del estanque.

## Capítulo IV Análisis Económico

### 4.1. Análisis Económico

A partir de la propuesta de mejoramiento de la planta, se realizó una evaluación económica de esta.

En una primera instancia, se realizó un listado de instrumentos necesarios para la ejecución de la propuesta (Tabla 4.1).

Tabla 4.1: Listado de instrumentos (Propuesta de Mejoramiento)

	Equipos	Cantidad
1	Válvula 3/4"	1
2	Válvula 1"	15
3	Válvula 2"	2
4	Válvulas Automáticas 3"	4
5	Flujómetro 4"	1
6	Flujómetro 3"	2
7	Flujómetro 2"	1
9	Sensor de Ión Calcio	2
10	Sensor de nivel	2
12	Sensor de pH	1
13	Sensor de Conductividad	1
14	Conjunto Relleno Torres de Enfriamiento	4
15	Dispensador de Gotas	144

## Capítulo IV Análisis Económico

---

Una vez identificado los instrumentos y equipos necesarios; se realizaron cotizaciones con diversas empresas (Anexo G, página 134), con el fin de determinar la inversión necesaria para la realización de la propuesta.

En la tabla 4.2 se aprecian los proveedores seleccionados y el costo unitario de cada equipo.

Tabla 4.2: Proveedores y costos unitarios.

	Equipos	Descripción	Costo unitario USD
1	Válvula 3/4"	COMEVAL	190
2	Válvula 1"	COMEVAL	193
3	Válvula 2"	COMEVAL	206
4	Válvulas Automáticas 3"	COMEVAL	314
5	Flujómetro 4"	VETO y CIA LTDA	688
6	Flujómetro 3"	VETO y CIA LTDA	662
7	Flujómetro 2"	VETO y CIA LTDA	1724
9	Sensor de Ión Calcio	YEW CHILE	3606
11	Sensor de nivel	YEW CHILE	1532
13	Sensor de pH	PROEQUIPOS	559
14	Sensor de Conductividad	PROEQUIPOS	1157
15	Conjunto Relleno Torres de Enfriamiento	HAMON ESINDUS LATINOAMERICA	2500
16	Dispensor de Gotas	HAMON ESINDUS LATINOAMERICA	1800

Una vez seleccionados los proveedores, se calculó el costo de la inversión inicial del proyecto. En la siguiente tabla se aprecia el detalle y el costo.

## Capítulo IV Análisis Económico

---

Tabla 4.3: Costo de Inversión, equipos.

	Equipos	Costo unitario USD	Cantidad	Costo Total USD
1	Válvula 3/4"	190	1	190
2	Válvula 1"	193	15	2895
3	Válvula 2"	206	2	412
4	Válvulas Automáticas 3"	314	4	1256
5	Flujómetro 4"	688	1	688
6	Flujómetro 3"	662	2	1324
7	Flujómetro 2"	1724	1	1724
9	Sensor de Ión Calcio Agua Potable	3606	2	7212
11	Sensor de nivel	1532	2	3064
13	Sensor de pH	559	1	559
14	Sensor de Conductividad	1157	1	1157
15	Conjunto Relleno Torres de Enfriamiento	2500	4	10000
16	Dispensor de Gotas	1800	4	7200
	Inversión:			37.681

Una vez determinado el costo de inversión, se estimó el costo de la instalación, considerando un 36% de costo de los equipos (Peters & Timmerhaus). Finalmente el costo total de inversión es de 51.247 dólares.

## Capítulo IV Análisis Económico

---

Posteriormente al cálculo de la inversión del proyecto, se determinó los gastos asociados al mal funcionamiento de la planta (situación actual).

Como se ha mencionado durante el desarrollo de este trabajo de título, los problemas que acarrea el mal funcionamiento de la planta, se engloban en dos ítems, los cuales provocan gastos a la división. El primero de ellos es el daño en los paneles de refrigeración, traduciéndose en el cambio de paneles y pérdidas por paradas de funcionamiento no programadas. El segundo ítem es sobre el RIL generado en exceso, debido a las altas temperaturas del proceso; este produce un gasto excesivo en agua, recurso valioso en la zona, y un gasto asociado al tratamiento químico del agua purgada.

El desglose de los gastos económicos, generados por los problemas mencionados anteriormente, se detallan en las tablas 4.4, 4.5 y 4.6. Siendo el gasto total el año 2011 de 155.094 dólares y una pérdida de 2.029.584 dólares por concepto de mantenciones no programadas.

Tabla 4.4: Gastos asociados a los paneles de refrigeración (H/H y materiales).

	2010	2011
Costos Paneles CT5 USD	215.966	207.606
Cantidad de Paneles CT5	43	39
Costo USD/Panel:	5.022	5.323

Promedio de Costo USD/panel	<b>5.173</b>
Promedio Cantidad de Paneles/año	<b>41</b>
Mantenimiento Predictivo [paneles/año]:	10
Mantenimiento Correctivo [paneles/año]:	31

<b>Costos por fallas paneles año 2011 USD</b>	<b>154.374</b>
---	----------------

## Capítulo IV Análisis Económico

---

Tabla 4.5: Gastos asociados a mantención no programadas.

Programa oficial:

fusión:	2.000	Tms/día
Ácido:	1.600	Tm/día
Cu a refinería	530	Tmf/día
Excedente ánodos:	0	Tmf/día

Costos Evitables

Fusión	55	US\$/Tms
Refinería	1,2	cUS\$/lb
Ácido:	15	US\$/Tm

Orientaciones Comerciales 2012

Tc 2011	56	USD/Tms
Rc 2011	5,6	cUSD/lb
Dblister 2011	-120	USD/Tmf
Margen 2011	118	USD/Tm

Paradas no programadas:	12	días/año
-------------------------	----	----------

**Perdidas de Operación por mantención no programadas**

Pérdidas por parada 2011	2.617.248	USD
--------------------------	-----------	-----



## Capítulo IV Análisis Económico

---

Tabla 4.6: Gastos asociados al consumo de agua y su tratamiento.

Costos Agua:

Agua potable:	0,87	USD/m <sup>3</sup>
Agua industrial:	0,1	USD/m <sup>3</sup>
Tratamiento Aguasin:	0,33	USD/m <sup>3</sup>

Gastos por exceso de Agua de Reposición, Agua Industrial:

Agua promedio m <sup>3</sup> /día	936	m <sup>3</sup> /día
Agua N.S promedio m <sup>3</sup> /día	394	m <sup>3</sup> /día
Exceso:	542	m <sup>3</sup> /día

Pérdida por Agua industrial:	54	USD/día
------------------------------	----	---------

Gastos por tratamiento del Agua Industrial en exceso:

<b>Exceso:</b>	542	m <sup>3</sup> /día
<b>Pérdidas por tratamiento Aguasin:</b>	178	USD/día

Costos problemas RIL

Capacidad estanque:	300	m <sup>3</sup> /día
Purga Planta de Agua CT5:	850	m <sup>3</sup> /día
Exceso:	550	m <sup>3</sup> /día

osmosis inversa (exceso RIL)	1.000	\$/m <sup>3</sup>
	2	USD/m <sup>3</sup>

Pérdidas por exceso RIL:	1.100	USD/día
<b>Pérdidas por exceso RIL:</b>	401.500	USD/año

## Capítulo IV Análisis Económico

---

Paralelamente al cálculo de los gastos generados por los problemas de la planta, se determinó los gastos de operación de ésta, gastos asociados a los puestos de trabajo (tabla 4.7), gastos de materiales y gastos diversos. El resumen de los gastos de operación es de 154.936 dólares, como se aprecia en la tabla 4.8.

Tabla 4.7: Detalle gasto puesto de trabajo, Planta de agua.

<b>Total Planta Agua Campanas Convertidores</b>		<b>2011</b>
<b>Planta Agua Maligas</b>	Electricistas fundición	
	Electricistas refinería	
	Electricistas suministros	7.982,69
	Inspección predictiva fu-re.	8.728,00
	Inspección técnica servicios de terceros	
	Instrumentistas fundición	10.656,31
	Instrumentistas refinería	
	Mantenedor telefonía (desactivado)	
	Mantenimiento planta de acido	
	Mecánicos fundición	1.645,95
	Mecánicos ptas. anexas fundición	60.501,49
	Mecánicos secado-inyección-transporte	19,40
	Taller eléctrico 76 fu-re	9.072,76
	Taller mecánicos calderería fu-re	8.653,88
	Taller mecánicos maestranza fu-re	20.022,30
<b>Total USD</b>	<b>127.283</b>	

## Capítulo IV Análisis Económico

Tabla 4.8: Gasto total de Operación Planta de agua.

<b>Planta Agua Maligas</b>	Suma de Gasto Materiales Internos	22.468
	Suma de Gasto Personal Externo	
	Suma de Gasto Personal Propio	127.283
	Suma de Costos Diversos	
	Suma de Gasto No Asignado	5.185
	<b>Total USD/año</b>	<b>154.936</b>

El impacto de los gastos, asociados al mal funcionamiento de la planta, es evidentemente mayor a la inversión necesaria de la propuesta de mejoramiento. Esta información se puede apreciar en el resumen de la evaluación económica expuesta en la tabla 4.9.

Tabla 4.9: Evaluación Económica de la Propuesta de Mejoramiento.

<b>Costos Operacionales Actuales</b>	USD
Costos Operacionales planta	154.936
Costos por fallas paneles	154.374
Costos por exceso de Agua Industrial	542
Costos por tratamiento Aguasin	178
Pérdidas por RIL	401.500
Pérdidas Operacionales por mantención no programada	2.617.248
<b>Total USD/año</b>	<b>3.328.778</b>
<b>Costos Operacionales Proyecto</b>	
Costos Operacionales planta	154.936
Costos Inversión Proyecto Mejoramiento	51.247
<b>Total USD/año</b>	<b>206.183</b>

## Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones

## Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones

---

A continuación se detallan las principales conclusiones del trabajo realizado, enfatizando algunos aspectos que se consideran relevantes.

Es indispensable para la fundición, asegurar el enfriamiento de la campana refrigerada del reactor convertidor Teniente, debido a que la insuficiente capacidad de refrigeración provoca diversos problemas, entre ellos, las roturas de los paneles de la campana, causando contaminación en el agua de proceso al infiltrarse gases de SO<sub>2</sub>, provocando corrosión en las cañerías, daños en los equipos, acumulación de desechos en los filtros de las bombas e incrustaciones en las placas de los intercambiadores de calor. Además de las pérdidas de producción por no poder operar el reactor, por consecuencias de filtración de agua hacia el interior.

El impacto económico de no poder operar el reactor es alto, ya que esta fundición sólo cuenta con una línea de operación. Por lo tanto al fallar los paneles del convertidor, se paraliza la producción total de ánodos. Y como consecuencia se ve afectada la refinería.

En el año 2011, doce días se paralizó la fundición a consecuencia de las fallas de los paneles del convertidor, estos significaron una pérdida de producción de 2.617.248 dólares. Además de los gastos asociados a la mantención, los que se elevan a un valor de 154.374 dólares al año.

Es por este motivo, que el objetivo de este trabajo es asegurar el enfriamiento de la campana refrigerada del Convertidor Teniente, esto se logró a través de una propuesta de mejoramiento de la planta de tratamiento de agua.

Esta propuesta abarca tres focos principalmente, los cuales se consideraron conflictivos; las Torres de Enfriamiento, los Intercambiadores de calor de placas y los sistemas de tratamiento de agua. Siendo los dos primeros consecuencia del último.

Los sistemas de tratamiento de agua, son indispensables para el correcto funcionamiento de la planta, esta está diseñada para trabajar con agua potable ablandada en el caso del circuito primario y agua industrial tratada para el

## Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones

---

secundario. Como la calidad del agua no es la apropiada, se produjeron problemas operacionales. Provocando que la planta perdiera capacidad de refrigeración.

La propuesta de mejoramiento, consiste en operar lo más parecido al diseño de la planta e instalar la instrumentación necesaria, para generar un control de esta.

Los puntos más importantes de la propuesta, son el mejoramiento del estado de los equipos y la habilitación y control total de los sistema de tratamiento físico del agua; los cuales consisten en un sistema de filtros y ablandadores.

Para asegurar la eliminación, en el circuito secundario, del calor generado al enfriar los paneles; fue necesario cambiar el relleno de las torres de enfriamiento, además elevar las torres, para favorecer la entrada de aire, ya que estas se encuentran a ras del estanque. Esto se concluyó a través de los análisis realizados, pruebas de determinación de los ciclos y el porcentaje (%) de evaporación. Estas pruebas obtuvieron resultados inferiores a los esperados, obteniéndose un porcentaje de evaporación de 1,2%, muy inferior al deseado, según los datos operacionales de otras plantas de agua, que poseen torres de enfriamiento, como la Planta de Acido; el ciclo del sistema bordea los 2,4. Con este valor se obtiene un porcentaje de evaporación del 8%, para las torres de enfriamiento. Esto se debe a que las torres se encontraban tapadas con carbonato de calcio (42,5%  $\text{CaCO}_3$ ).

De manera inmediata con el fin de solucionar el problema se realizó la compra de los rellenos para las torres, y se comenzó a limpiar e instalar los nuevos rellenos. Hasta la finalización de este trabajo, se había cambiado el relleno de dos torres, obteniéndose resultados visibles, como se aprecia en el gráfico 3.2 y 3.3.

El diferencial de temperatura subió desde un 4,1°C a 7,6°C luego del cambio de relleno en el circuito secundario. En el circuito primario también hubo una mejora notoria, el calor extraído en los intercambiadores era de 0,6°C, y con el cambio de relleno subió a 4,9°C.

## Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones

---

Finalmente se puede concluir que la propuesta realizada, es apropiada para esta planta. Debido a que las mejoras operacionales están a la vista. Cabe señalar que la inversión de la propuesta es sumamente inferior a los gastos de mantención y las pérdidas asociadas a los días sin producción, por fallas de los paneles.

## Anexos



### A. Características del Agua

#### A-1. Características de Agua Potable

El agua potable usada en Potrerillos presenta las siguientes características:

Temperatura	[°C]	: 5 – 20
pH		: 7,5 – 8,5
Conductividad	[uMHO/cm]	: 1.400
Turbidez	[NTU]	: 1
Dureza total	[ppm CaCO <sub>3</sub> ]	: 60-70
Dureza Cálcica	[ppm CaCO <sub>3</sub> ]	: 50-60
Alcalinidad total	[ppm CaCO <sub>3</sub> ]	: 18
Alcalinidad Fenol	[ppm CaCO <sub>3</sub> ]	: 0
Cl	[ppm]	: 13
SO <sub>4</sub>	[ppm]	: 210
Sólidos Disueltos	[ppm]	: 200 – 415
Fe	[ppm]	: 0,05
SiO <sub>2</sub>	[ppm]	:35 – 45

### A-2. Características de Agua Industrial

La composición química del agua para uso industrial disponible en Potrerillos es la siguiente:

Temperatura	[°C]	: 5 – 20
pH		: 8 – 8,5
Turbidez	[NTU]	: 178
Dureza total	[ppm CaCO <sub>3</sub> ]	: 450 – 550
Dureza Cálcica	[ppm CaCO <sub>3</sub> ]	: 350 – 440
Alcalinidad total	[ppm CaCO <sub>3</sub> ]	: 210
Alcalinidad	[ppm CaCO <sub>3</sub> ]	: 170
Fenol		
Cl	[ppm]	: 1.200
SO <sub>4</sub>	[ppm]	: 205
Sólidos Disueltos	[ppm]	: 2.110
Fe	[ppm]	: 0,6
SiO <sub>2</sub>	[ppm]	:70

## B. Características físico química de agua de reposición

### B-1. Agua de reposición Circuito CT5:

Tabla B-1: Características del Agua de Reposición Circuito CT5

Parámetros	Unidad	Valor
pH		7,5 – 8,5
Sólidos Disueltos	ppm CaCO <sub>3</sub>	200 – 400
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	10 – 50
Hierro Soluble	ppm Fe <sup>+2</sup>	0,2
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	35 – 45
Cloruros	ppm Cl <sup>-</sup>	30 – 50
Sulfatos	ppm SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	425
Conductividad	Mnhos/cm	400 – 800

### B-2. Reposición Torres de Enfriamiento:

Tabla B-2: Características Agua Reposición Torres Enfriamiento.

Parámetros	Unidad	Valor
pH		8,5 – 9
Cloruros	ppm Cl <sup>-</sup>	1150
Dureza total	ppm CaCO <sub>3</sub>	600
Dureza Cálcica	ppm CaCO <sub>3</sub>	440
Sólidos disueltos	ppm CaCO <sub>3</sub>	2110
Hierro Soluble	ppm Fe <sup>+2</sup>	0,07
Zinc Soluble	ppm Zn <sup>+2</sup>	0,0
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	70
Sulfato	ppm SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	425
Conductividad	Mnhos/cm	4000

### **C. Determinación de la dureza ( $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ )**

#### **C-1. Método 1**

El Procedimiento del laboratorio de Codelco para la determinación de Ca y Mg, se realiza mediante la técnica de ICP-OES (espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente), utilizando un equipo de Plasma Varian Vista PRO.

La ICP-OES es una técnica multielemento que permite el análisis simultáneo de gran número de elementos. Se basa en la medición de la radiación de la línea emitida por átomos excitados en un plasma de Ar generado por calentamiento inductivo con un campo electromagnético de alta frecuencia. Los principales componentes de un instrumento ICP-OES son la antorcha plasmática, el nebulizador y el policromador.

#### **Objetivo**

El presente instructivo, tiene por objeto determinar el contenido de Ca-Mg, en muestras de Agua en los niveles normales de ocurrencia.

La muestra en forma directa, o una dilución de esta es nebulizada en un equipo de plasma ICP-OES, donde la radiación electromagnética emitida es medida y relacionada con la concentración de los elementos de interés, mediante una curva de Calibración, preparada con estándares certificados de los elementos a determinar.

#### **Procedimiento**

- Tomar una alícuota de 10 ml de muestra, llevar a matraz de aforo de 100 ml y aforar con agua desionizada.
- Leer la muestra en Equipo de plasma y calcular el contenido de Ca-Mg, considerando el factor de dilución correspondiente.

$$\text{mg/l Muestra} = \text{Concentración leída} \times \text{Factor de Dilución}$$

- Si la muestra presenta menos de 500 mg/l de Ca y Mg se puede leer directamente en equipo de plasma.
- El equipo entregará en forma directa los mg/l de los elementos, obtenidos de la curva de calibración. [4]

### **C-2. Método 2**

Los metales alcalino-térreos presentes en las aguas, forman complejos de tipo quelato con la sal disódica del ácido etilendiaminotetracético (EDTA).

En la determinación de la dureza se utiliza el Negro de Eriocromo T como indicador, este es un ácido tribásico que forma complejos solubles coloreados con los iones calcio y magnesio. El cambio de color de la disolución en el punto final de la valoración es de rojo-vinoso a azul, dado que el complejo del magnesio con el indicador es de rojo vinoso y el indicador libre es azul en el intervalo de pH 6,5 - 11, siendo un pH de 10 el óptimo en la valoración.

Es imprescindible que en las aguas exista el ion magnesio aunque sea en pequeñas cantidades, para que se produzca el cambio de color.

#### **Modo operatorio.**

En un erlenmeyer de 25 ml se agrega con una pipeta 10 ml, del agua a analizar. Se añaden de 3 a 4 gotas de solución amoniaca y una pizca de Eriocromo Negro T. Se agita la solución y se valora con solución de EDTA 0,02 N hasta cambio de coloración de rojo-vino a azul. [3]

### D. Determinación de $\text{Cl}^-$

La determinación de  $\text{Cl}^-$ , se realiza mediante una valoración Potenciométrica (Titulador Automático Mettler-Toledo DL-50).

#### Principio

Previa verificación del equipo, se procede a instalar el electrodo en su posición, el agitador y el tubo de dosificación con punta sinfónica de salida de titulante ( $\text{AgNO}_3$ ) en la cabeza de valoración. Establecer comunicación entre sistema Lims y el Titulador.

El Titulador DL50 determina el contenido de cloruro de la muestra con  $\text{AgNO}_3$  de concentración conocida, por diferencia de potencial. Esta diferencia es medida por el equipo, en ese instante termina el análisis. La diferencia de potencial es el punto exacto de Equivalencia. El resultado es transmitió automáticamente a la hoja de trabajo de sistema Lims, On Wsh y luego exportado al Report asociado.

#### Condiciones Previas a la operación de equipo

- Verificar que el equipo se encuentre encendido.
- Coloque la solución tituladora en el frasco de 1litro de color caramelo, luego la junta plana sobre la boca del frasco y enrosque el porta buretas.
- Introduzca una bureta en el accionador2 y con la perilla fíjela. Llénela con la solución tituladora, use la tecla bureta, seleccione lavar bureta y empezar.
- Repite la operación un par de veces, hasta verificar que n existe aire tanto en la bureta como en los tubos se succión y dosificador. Para terminar este proceso presione F1 (escape) y luego la tecla Reset.
- El motor de agitación debe estar en posición y conectado al titulador, la varilla impulsora de agitación debe estar inserta.

- Sacar el electrodo del Holder (contenedor), lavarlo repetidamente con agua desionizada, secarlo con papel Kimwipes o similar, colocar en lugar de la cabeza de valoración y verificar que se encuentre conectado al titulador.

### **Operación del Titulador DL50**

- Una vez colocada la bureta en su posición, el electrodo, el tubo dosificador y el agitador insertos en la cabeza de valoración podemos empezar a realizar determinaciones, tanto de electrolitos de Refinería, Riles Planta, aguas y Barros Anódicos.
- Presionando la tecla Bureta, y con la tecla de cursor seleccionar lavar punta, usar F5 (empezar), esperar la operación y repetir un par de veces.
- Recibir los lavados en un recipiente para descartes, para salir presione F1 (escape) y luego la tecla Reset.
- Ajustar un vaso en la cabeza de valoración, presionar la tecla Run, la pantalla pide: cantidad de muestra, identificación de método y usuario, este último es fijo (usuario 5).
- Ingresar la cantidad de muestra (teclado numérico entrada de datos), con tecla de cursor desplazar una línea e identificar el método: electrolitos y agua es el 7.
- Analizar y el Titulador entrega resultados directos en gramos/litros, porcentaje y ppm.

### **Determinación de Cloro en Agua**

- Se debe tomar 10 ml de alícuota y transferirlos a los vasos de 100 ml de polypropylene, adicionar aprox. 30 – 40 ml de agua desionizada.
- Presionar la tecla RUN, ingresar la cantidad de muestra, el número de método, presionar F5 (empezar) y luego nuevamente F5, (OK). El titulador comienza a realizar el análisis agitando y dosificando la solución de  $\text{AgNO}_3$  de concentración 0,005 N. El electrodo DM 141-SC registra los cambios de



potencial en la solución y las muestras en la gráfica de potencial E versus volumen V.

- Terminado el análisis el titulador deja de agitar transmite el resultado directamente en g/l, el sistema LIMS o lo imprime.
- Retirar el vaso de cabeza de valoración, lavar el electrodo, la varilla agitadora y la punta dosificadora con agua desionizada. Ajustar el siguiente vaso y presionar la tecla F5 (OK). El equipo analizará nuevamente. [5]

**E. Temperaturas Circuito Secundario**

Tabla E: Promedio de temperaturas por día Circuito Secundario

		<b>Temperatura Salida intercambiadores</b>	<b>Temperatura Entrada intercambiadores</b>
01-Ene-11	02-Ene-11	51,84	47,73
02-Ene-11	03-Ene-11	52,91	48,82
03-Ene-11	04-Ene-11	52,73	48,71
04-Ene-11	05-Ene-11	53,10	50,20
05-Ene-11	06-Ene-11	52,65	48,39
06-Ene-11	07-Ene-11	52,99	49,33
07-Ene-11	08-Ene-11	52,71	50,33
08-Ene-11	09-Ene-11	51,85	47,43
09-Ene-11	10-Ene-11	51,76	46,93
10-Ene-11	11-Ene-11	52,47	47,62
11-Ene-11	12-Ene-11	45,74	41,98
12-Ene-11	13-Ene-11	48,49	43,75
13-Ene-11	14-Ene-11	49,54	44,46
14-Ene-11	15-Ene-11	49,09	44,39
15-Ene-11	16-Ene-11	51,65	46,69
16-Ene-11	17-Ene-11	51,32	46,54
17-Ene-11	18-Ene-11	50,45	45,71
18-Ene-11	19-Ene-11	51,29	46,23
19-Ene-11	20-Ene-11	47,33	43,03
20-Ene-11	21-Ene-11	50,44	47,16
21-Ene-11	22-Ene-11	44,44	40,24
22-Ene-11	23-Ene-11	45,04	40,46

## Capítulo VI Anexos

---

23-Ene-11	24-Ene-11	45,63	41,11
24-Ene-11	25-Ene-11	42,05	38,05
25-Ene-11	26-Ene-11	44,26	39,67
26-Ene-11	27-Ene-11	46,61	41,78
27-Ene-11	28-Ene-11	46,81	41,92
28-Ene-11	29-Ene-11	46,45	41,52
29-Ene-11	30-Ene-11	43,78	39,17
30-Ene-11	31-Ene-11	42,39	38,11
31-Ene-11	01-Feb-11	45,09	40,40
01-Feb-11	02-Feb-11	41,78	38,21
02-Feb-11	03-Feb-11	52,16	46,45
03-Feb-11	04-Feb-11	42,26	39,01
04-Feb-11	05-Feb-11	49,93	45,50
05-Feb-11	06-Feb-11	49,43	45,16
06-Feb-11	07-Feb-11	50,35	46,60
07-Feb-11	08-Feb-11	50,38	46,30
08-Feb-11	09-Feb-11	49,23	44,90
09-Feb-11	10-Feb-11	49,54	44,89
10-Feb-11	11-Feb-11	51,65	47,18
11-Feb-11	12-Feb-11	49,71	45,11
12-Feb-11	13-Feb-11	49,24	44,86
13-Feb-11	14-Feb-11	49,66	44,79
14-Feb-11	15-Feb-11	50,27	45,66
15-Feb-11	16-Feb-11	50,69	46,16
16-Feb-11	17-Feb-11	48,08	43,86
17-Feb-11	18-Feb-11	50,68	45,86
18-Feb-11	19-Feb-11	52,58	48,86
19-Feb-11	20-Feb-11	48,98	45,54

## Capítulo VI Anexos

---

20-Feb-11	21-Feb-11	50,35	45,08
21-Feb-11	22-Feb-11	49,48	43,86
22-Feb-11	23-Feb-11	49,63	44,50
23-Feb-11	24-Feb-11	51,28	46,16
24-Feb-11	25-Feb-11	51,79	46,59
25-Feb-11	26-Feb-11	51,86	46,79
26-Feb-11	27-Feb-11	50,26	45,31
27-Feb-11	28-Feb-11	49,84	44,86
28-Feb-11	01-Mar-11	40,56	36,80
01-Mar-11	02-Mar-11	34,70	32,14
02-Mar-11	03-Mar-11	34,06	31,37
03-Mar-11	04-Mar-11	43,61	39,08
04-Mar-11	05-Mar-11	48,11	43,05
05-Mar-11	06-Mar-11	52,60	47,45
06-Mar-11	07-Mar-11	52,84	47,55
07-Mar-11	08-Mar-11	51,68	46,53
08-Mar-11	09-Mar-11	46,78	42,50
09-Mar-11	10-Mar-11	47,32	42,69
10-Mar-11	11-Mar-11	50,29	45,21
11-Mar-11	12-Mar-11	51,07	45,76
12-Mar-11	13-Mar-11	52,06	46,76
13-Mar-11	14-Mar-11	52,09	47,04
14-Mar-11	15-Mar-11	50,21	45,18
15-Mar-11	16-Mar-11	48,81	44,46
16-Mar-11	17-Mar-11	50,44	45,54
17-Mar-11	18-Mar-11	38,75	36,32
18-Mar-11	19-Mar-11	51,25	46,35
19-Mar-11	20-Mar-11	52,13	47,20

## Capítulo VI Anexos

---

20-Mar-11	21-Mar-11	51,22	46,59
21-Mar-11	22-Mar-11	43,94	40,18
22-Mar-11	23-Mar-11	49,90	46,44
23-Mar-11	24-Mar-11	47,39	44,11
24-Mar-11	25-Mar-11	53,10	49,81
25-Mar-11	26-Mar-11	52,48	48,39
26-Mar-11	27-Mar-11	50,59	45,61
27-Mar-11	28-Mar-11	50,08	45,05
28-Mar-11	29-Mar-11	48,29	43,81
29-Mar-11	30-Mar-11	46,08	41,81
30-Mar-11	31-Mar-11	48,34	44,01
31-Mar-11	01-Abr-11	47,07	43,16
01-Abr-11	02-Abr-11	52,62	48,73
02-Abr-11	03-Abr-11	49,71	45,07
03-Abr-11	04-Abr-11	51,06	46,59
04-Abr-11	05-Abr-11	42,09	38,94
05-Abr-11	06-Abr-11	47,38	43,10
06-Abr-11	07-Abr-11	47,67	43,50
07-Abr-11	08-Abr-11	46,46	42,72
08-Abr-11	09-Abr-11	47,57	43,40
09-Abr-11	10-Abr-11	44,58	40,87
10-Abr-11	11-Abr-11	43,20	39,84
11-Abr-11	12-Abr-11	42,48	38,91
12-Abr-11	13-Abr-11	43,25	39,53
13-Abr-11	14-Abr-11	43,87	40,17
14-Abr-11	15-Abr-11	44,43	40,68
15-Abr-11	16-Abr-11	43,86	40,13
16-Abr-11	17-Abr-11	43,77	39,90

## Capítulo VI Anexos

---

17-Abr-11	18-Abr-11	49,91	45,09
18-Abr-11	19-Abr-11	44,45	40,71
19-Abr-11	20-Abr-11	42,82	39,38
20-Abr-11	21-Abr-11	39,13	36,02
21-Abr-11	22-Abr-11	46,50	42,39
22-Abr-11	23-Abr-11	45,13	41,01
23-Abr-11	24-Abr-11	44,03	40,02
24-Abr-11	25-Abr-11	45,46	41,32
25-Abr-11	26-Abr-11	45,36	41,10
26-Abr-11	27-Abr-11	46,82	41,65
27-Abr-11	28-Abr-11	45,01	41,14
28-Abr-11	29-Abr-11	43,93	40,03
29-Abr-11	30-Abr-11	44,66	40,78
30-Abr-11	01-May-11	43,56	39,94
01-May-11	02-May-11	43,42	39,62
02-May-11	03-May-11	43,43	39,65
03-May-11	04-May-11	35,09	32,68
04-May-11	05-May-11	41,69	38,26
05-May-11	06-May-11	41,56	38,37
06-May-11	07-May-11	45,53	41,46
07-May-11	08-May-11	44,43	40,80
08-May-11	09-May-11	43,69	40,14
09-May-11	10-May-11	43,96	40,12
10-May-11	11-May-11	43,79	40,10
11-May-11	12-May-11	44,18	40,18
12-May-11	13-May-11	45,90	41,65
13-May-11	14-May-11	47,14	42,56
14-May-11	15-May-11	47,97	43,35

## Capítulo VI Anexos

---

15-May-11	16-May-11	47,91	43,27
16-May-11	17-May-11	45,02	40,84
17-May-11	18-May-11	43,33	39,45
18-May-11	19-May-11	36,91	34,61
19-May-11	20-May-11	42,08	38,62
20-May-11	21-May-11	39,12	36,22
21-May-11	22-May-11	41,19	37,91
22-May-11	23-May-11	41,75	38,15
23-May-11	24-May-11	40,68	37,62
24-May-11	25-May-11	38,77	35,94
25-May-11	26-May-11	38,47	35,74
26-May-11	27-May-11	39,94	37,38
27-May-11	28-May-11	34,82	32,50
28-May-11	29-May-11	34,59	32,10
29-May-11	30-May-11	35,08	32,45
30-May-11	31-May-11	24,19	23,17
31-May-11	01-Jun-11	42,40	38,75
01-Jun-11	02-Jun-11	41,47	38,45
02-Jun-11	03-Jun-11	39,05	36,07
03-Jun-11	04-Jun-11	40,33	37,28
04-Jun-11	05-Jun-11	39,93	36,69
05-Jun-11	06-Jun-11	36,44	33,63
06-Jun-11	07-Jun-11	40,12	36,95
07-Jun-11	08-Jun-11	38,35	35,50
08-Jun-11	09-Jun-11	39,68	36,68
09-Jun-11	10-Jun-11	40,98	37,86
10-Jun-11	11-Jun-11	41,40	38,48
11-Jun-11	12-Jun-11	41,71	38,58

## Capítulo VI Anexos

---

12-Jun-11	13-Jun-11	42,25	39,22
13-Jun-11	14-Jun-11	41,57	38,41
14-Jun-11	15-Jun-11	41,96	38,83
15-Jun-11	16-Jun-11	40,43	37,69
16-Jun-11	17-Jun-11	38,84	36,08
17-Jun-11	18-Jun-11	39,84	36,74
18-Jun-11	19-Jun-11	37,34	34,15
19-Jun-11	20-Jun-11	37,16	34,29
20-Jun-11	21-Jun-11	36,08	33,61
21-Jun-11	22-Jun-11	30,48	28,54
22-Jun-11	23-Jun-11	37,39	34,43
23-Jun-11	24-Jun-11	41,07	37,85
24-Jun-11	25-Jun-11	40,43	37,34
25-Jun-11	26-Jun-11	40,17	37,01
26-Jun-11	27-Jun-11	39,76	36,86
27-Jun-11	28-Jun-11	37,60	34,93
28-Jun-11	29-Jun-11	36,48	33,73
29-Jun-11	30-Jun-11	33,97	31,86
30-Jun-11	01-Jul-11	35,73	32,99
01-Jul-11	02-Jul-11	36,27	33,77
02-Jul-11	03-Jul-11	33,13	30,74
03-Jul-11	04-Jul-11	32,38	30,33
04-Jul-11	05-Jul-11	34,91	32,68
05-Jul-11	06-Jul-11	38,07	35,23
06-Jul-11	07-Jul-11	23,01	21,73
07-Jul-11	08-Jul-11	39,49	35,62
08-Jul-11	09-Jul-11	22,21	19,47
09-Jul-11	10-Jul-11	14,73	14,06



## Capítulo VI Anexos

---

10-Jul-11	11-Jul-11	26,51	24,59
11-Jul-11	12-Jul-11	31,09	30,71
12-Jul-11	13-Jul-11	18,40	18,12
13-Jul-11	14-Jul-11	14,30	14,02
14-Jul-11	15-Jul-11	12,41	12,07
15-Jul-11	16-Jul-11	10,55	9,03
16-Jul-11	17-Jul-11	7,86	6,57
17-Jul-11	18-Jul-11	8,14	7,63
18-Jul-11	19-Jul-11	10,27	7,71
19-Jul-11	20-Jul-11	19,18	17,65
20-Jul-11	21-Jul-11	46,72	38,39
21-Jul-11	22-Jul-11	53,10	48,88
22-Jul-11	23-Jul-11	53,10	50,81
23-Jul-11	24-Jul-11	53,10	50,64
24-Jul-11	25-Jul-11	53,10	48,84
25-Jul-11	26-Jul-11	53,10	48,63
26-Jul-11	27-Jul-11	53,10	46,36
27-Jul-11	28-Jul-11	53,10	48,32
28-Jul-11	29-Jul-11	53,10	50,26
29-Jul-11	30-Jul-11	53,10	49,45
30-Jul-11	31-Jul-11	53,10	49,36
31-Jul-11	01-Ago-11	53,10	37,09
01-Ago-11	02-Ago-11	53,10	18,32
02-Ago-11	03-Ago-11	53,10	47,99
03-Ago-11	04-Ago-11	52,43	46,09
04-Ago-11	05-Ago-11	50,27	47,38
05-Ago-11	06-Ago-11	41,36	37,55
06-Ago-11	07-Ago-11	41,47	37,69

## Capítulo VI Anexos

---

07-Ago-11	08-Ago-11	41,01	37,20
08-Ago-11	09-Ago-11	42,33	38,46
09-Ago-11	10-Ago-11	44,09	40,09
10-Ago-11	11-Ago-11	45,33	41,40
11-Ago-11	12-Ago-11	48,70	44,90
12-Ago-11	13-Ago-11	51,88	47,85
13-Ago-11	14-Ago-11	52,85	49,16
14-Ago-11	15-Ago-11	52,95	46,12
15-Ago-11	16-Ago-11	53,10	45,61
16-Ago-11	17-Ago-11	53,10	44,56
17-Ago-11	18-Ago-11	53,10	44,36
18-Ago-11	19-Ago-11	52,88	44,43
19-Ago-11	20-Ago-11	52,98	45,45
20-Ago-11	20-Ago-11	53,07	45,57
20-Ago-11	22-Ago-11	53,10	47,40
22-Ago-11	23-Ago-11	53,10	46,81
23-Ago-11	24-Ago-11	53,10	42,78
24-Ago-11	25-Ago-11	53,10	45,69
25-Ago-11	26-Ago-11	53,01	45,49
26-Ago-11	27-Ago-11	51,47	45,18
27-Ago-11	28-Ago-11	49,76	45,86
28-Ago-11	29-Ago-11	49,65	45,90
29-Ago-11	30-Ago-11	48,53	44,45
30-Ago-11	31-Ago-11	49,42	44,28
31-Ago-11	01-Sep-11	53,10	35,83
01-Sep-11	02-Sep-11	51,79	45,72
02-Sep-11	03-Sep-11	49,68	45,30
03-Sep-11	04-Sep-11	50,24	42,87

## Capítulo VI Anexos

---

04-Sep-11	05-Sep-11	53,02	42,15
05-Sep-11	06-Sep-11	46,40	42,14
06-Sep-11	07-Sep-11	47,72	42,38
07-Sep-11	08-Sep-11	48,89	43,93
08-Sep-11	09-Sep-11	45,45	42,14
09-Sep-11	10-Sep-11	47,21	43,44
10-Sep-11	11-Sep-11	47,58	44,10
11-Sep-11	12-Sep-11	47,42	44,07
12-Sep-11	13-Sep-11	47,91	44,56
13-Sep-11	14-Sep-11	47,81	44,43
14-Sep-11	15-Sep-11	45,15	42,36
15-Sep-11	16-Sep-11	50,33	46,24
16-Sep-11	17-Sep-11	46,94	44,07
17-Sep-11	18-Sep-11	31,39	30,35
18-Sep-11	19-Sep-11	51,65	49,14
19-Sep-11	20-Sep-11	50,15	47,40
20-Sep-11	21-Sep-11	49,73	46,83
21-Sep-11	22-Sep-11	48,64	45,86
22-Sep-11	23-Sep-11	48,85	45,66
23-Sep-11	24-Sep-11	49,00	45,49
24-Sep-11	25-Sep-11	44,70	41,78
25-Sep-11	26-Sep-11	49,91	46,52
26-Sep-11	27-Sep-11	49,02	45,78
27-Sep-11	28-Sep-11	49,65	46,14
28-Sep-11	29-Sep-11	49,00	45,44
29-Sep-11	30-Sep-11	49,18	45,80
30-Sep-11	01-Oct-11	50,15	45,73
01-Oct-11	02-Oct-11	50,50	46,15

## Capítulo VI Anexos

---

02-Oct-11	03-Oct-11	49,99	45,72
03-Oct-11	04-Oct-11	50,29	43,91
04-Oct-11	05-Oct-11	50,42	46,05
05-Oct-11	06-Oct-11	50,76	45,94
06-Oct-11	07-Oct-11	49,16	45,37
07-Oct-11	08-Oct-11	49,75	46,06
08-Oct-11	09-Oct-11	50,50	46,69
09-Oct-11	10-Oct-11	46,66	43,00
10-Oct-11	11-Oct-11	46,18	42,64
11-Oct-11	12-Oct-11	46,85	43,50
12-Oct-11	13-Oct-11	50,11	46,59
13-Oct-11	14-Oct-11	49,46	45,93
14-Oct-11	15-Oct-11	49,67	46,04
15-Oct-11	16-Oct-11	47,96	44,73
16-Oct-11	17-Oct-11	47,17	44,02
17-Oct-11	18-Oct-11	48,29	45,00
18-Oct-11	19-Oct-11	50,02	46,32
19-Oct-11	20-Oct-11	47,88	44,35
20-Oct-11	21-Oct-11	48,73	45,10
21-Oct-11	22-Oct-11	50,71	46,85
22-Oct-11	23-Oct-11	51,09	47,33
23-Oct-11	24-Oct-11	50,40	47,15
24-Oct-11	25-Oct-11	49,23	45,56
25-Oct-11	26-Oct-11	49,31	44,79
26-Oct-11	27-Oct-11	35,48	33,66
27-Oct-11	28-Oct-11	46,09	42,40
28-Oct-11	29-Oct-11	46,51	42,84
29-Oct-11	30-Oct-11	50,54	46,88

## Capítulo VI Anexos

---

30-Oct-11	31-Oct-11	49,79	46,26
31-Oct-11	01-Nov-11	49,60	45,95
01-Nov-11	02-Nov-11	49,91	46,53
02-Nov-11	03-Nov-11	47,17	43,11
03-Nov-11	04-Nov-11	50,06	46,15
04-Nov-11	05-Nov-11	39,30	37,30
05-Nov-11	06-Nov-11	50,97	46,75
06-Nov-11	07-Nov-11	51,44	47,82
07-Nov-11	08-Nov-11	50,74	46,81
08-Nov-11	09-Nov-11	52,29	48,85
09-Nov-11	10-Nov-11	50,70	46,92
10-Nov-11	11-Nov-11	50,31	46,40
11-Nov-11	12-Nov-11	51,35	47,49
12-Nov-11	13-Nov-11	49,91	45,86
13-Nov-11	14-Nov-11	47,90	43,90
14-Nov-11	15-Nov-11	47,72	43,45
15-Nov-11	16-Nov-11	47,55	43,39
16-Nov-11	17-Nov-11	50,79	45,51
17-Nov-11	18-Nov-11	38,37	36,79
18-Nov-11	19-Nov-11	45,76	43,81
19-Nov-11	20-Nov-11	51,93	48,37
20-Nov-11	21-Nov-11	50,05	46,48
21-Nov-11	22-Nov-11	51,73	48,46
22-Nov-11	23-Nov-11	52,17	48,90
23-Nov-11	24-Nov-11	51,65	48,66
24-Nov-11	25-Nov-11	51,91	48,95
25-Nov-11	26-Nov-11	51,75	49,75
26-Nov-11	27-Nov-11	52,97	50,53

## Capítulo VI Anexos

---

27-Nov-11	28-Nov-11	52,43	49,17
28-Nov-11	29-Nov-11	50,85	48,08
29-Nov-11	30-Nov-11	50,53	46,92
30-Nov-11	01-Dic-11	50,24	46,40
01-Dic-11	02-Dic-11	38,72	37,63
02-Dic-11	03-Dic-11	51,80	49,72
03-Dic-11	04-Dic-11	43,27	40,70
04-Dic-11	05-Dic-11	52,18	49,09
05-Dic-11	06-Dic-11	52,80	49,88
06-Dic-11	07-Dic-11	52,62	49,80
07-Dic-11	08-Dic-11	51,06	47,69
08-Dic-11	09-Dic-11	52,47	49,73
09-Dic-11	10-Dic-11	52,79	50,85
10-Dic-11	11-Dic-11	51,47	49,10
11-Dic-11	12-Dic-11	52,31	48,73
12-Dic-11	13-Dic-11	51,05	48,22
13-Dic-11	14-Dic-11	50,53	47,70
14-Dic-11	15-Dic-11	47,93	44,45
15-Dic-11	16-Dic-11	43,38	37,21
16-Dic-11	17-Dic-11	40,80	34,25
17-Dic-11	18-Dic-11	38,63	32,18
18-Dic-11	19-Dic-11	41,80	34,41
19-Dic-11	20-Dic-11	41,71	35,11
20-Dic-11	21-Dic-11	35,67	30,37
21-Dic-11	22-Dic-11	45,91	38,12
22-Dic-11	23-Dic-11	43,49	36,44
23-Dic-11	24-Dic-11	42,34	35,48
24-Dic-11	25-Dic-11	38,27	32,31

## Capítulo VI Anexos

---

25-Dic-11	26-Dic-11	43,54	36,48
26-Dic-11	27-Dic-11	42,62	35,91
27-Dic-11	28-Dic-11	43,24	35,91
28-Dic-11	29-Dic-11	40,99	32,76
29-Dic-11	30-Dic-11	32,30	25,02
30-Dic-11	31-Dic-11	28,18	22,89
31-Dic-11	01-Ene-12	28,34	22,63
01-Ene-12	02-Ene-12	27,85	22,38
02-Ene-12	03-Ene-12	28,29	23,04
03-Ene-12	04-Ene-12	28,05	22,90
04-Ene-12	05-Ene-12	28,48	23,38
05-Ene-12	06-Ene-12	25,99	21,97
06-Ene-12	07-Ene-12	27,84	22,84
07-Ene-12	08-Ene-12	28,88	23,79
08-Ene-12	09-Ene-12	25,64	20,98
09-Ene-12	10-Ene-12	33,43	25,94
10-Ene-12	11-Ene-12	32,33	24,64
11-Ene-12	12-Ene-12	33,29	25,19
12-Ene-12	13-Ene-12	32,85	24,65
13-Ene-12	14-Ene-12	30,90	23,28
14-Ene-12	15-Ene-12	33,13	24,52
15-Ene-12	16-Ene-12	32,01	23,78
16-Ene-12	17-Ene-12	31,64	23,50
17-Ene-12	18-Ene-12	29,11	22,01
18-Ene-12	19-Ene-12	31,55	23,65
19-Ene-12	20-Ene-12	30,89	23,08
20-Ene-12	21-Ene-12	32,27	24,41
21-Ene-12	22-Ene-12	32,34	24,36

## Capítulo VI Anexos

---

22-Ene-12	23-Ene-12	31,46	23,77
23-Ene-12	24-Ene-12	32,22	24,16
24-Ene-12	25-Ene-12	32,37	24,25
25-Ene-12	26-Ene-12	29,54	22,71
26-Ene-12	27-Ene-12	25,94	20,41
27-Ene-12	28-Ene-12	33,61	25,54
28-Ene-12	29-Ene-12	33,46	25,51
29-Ene-12	30-Ene-12	35,81	27,71
30-Ene-12	31-Ene-12	35,28	27,41
31-Ene-12	01-Feb-12	35,24	27,35
01-Feb-12	02-Feb-12	36,15	28,02
02-Feb-12	03-Feb-12	33,70	26,20
03-Feb-12	04-Feb-12	33,27	26,21
04-Feb-12	05-Feb-12	34,45	26,83
05-Feb-12	06-Feb-12	32,57	25,94
06-Feb-12	07-Feb-12	33,96	26,61
07-Feb-12	08-Feb-12	28,72	23,12
08-Feb-12	09-Feb-12	37,43	29,30
09-Feb-12	10-Feb-12	37,12	29,06
10-Feb-12	11-Feb-12	35,28	27,77
11-Feb-12	12-Feb-12	36,05	28,41
12-Feb-12	13-Feb-12	35,61	28,11



**F. Temperaturas Circuito Primario**

Tabla F: Temperaturas promedios por día Circuito Primario

		<b>Temperatura Salida intercambiadores</b>	<b>Temperatura Salida Campanas</b>	<b>Temperatura Entrada intercambiadores</b>
01-Ene-11	02-Ene-11	52,99	64,83	53,02
02-Ene-11	03-Ene-11	53,10	66,90	53,10
03-Ene-11	04-Ene-11	53,10	66,55	53,10
04-Ene-11	05-Ene-11	53,10	72,47	53,10
05-Ene-11	06-Ene-11	53,10	68,15	53,10
06-Ene-11	07-Ene-11	53,10	69,90	53,10
07-Ene-11	08-Ene-11	53,10	72,66	53,10
08-Ene-11	09-Ene-11	53,10	67,40	53,10
09-Ene-11	10-Ene-11	53,10	65,91	53,10
10-Ene-11	11-Ene-11	53,10	68,06	53,10
11-Ene-11	12-Ene-11	48,59	59,03	49,06
12-Ene-11	13-Ene-11	52,52	62,85	52,65
13-Ene-11	14-Ene-11	52,81	63,64	53,10
14-Ene-11	15-Ene-11	53,10	63,14	53,10
15-Ene-11	16-Ene-11	53,10	66,93	53,10
16-Ene-11	17-Ene-11	53,10	67,35	53,10
17-Ene-11	18-Ene-11	52,76	65,98	52,91
18-Ene-11	19-Ene-11	53,10	66,47	53,10
19-Ene-11	20-Ene-11	50,80	62,49	50,78
20-Ene-11	21-Ene-11	52,49	79,54	52,71
21-Ene-11	22-Ene-11	51,98	68,25	52,24
22-Ene-11	23-Ene-11	53,10	69,72	53,10

## Capítulo VI Anexos

---

23-Ene-11	24-Ene-11	52,93	71,90	53,03
24-Ene-11	25-Ene-11	52,83	67,03	52,96
25-Ene-11	26-Ene-11	52,54	70,39	52,85
26-Ene-11	27-Ene-11	53,10	73,81	53,10
27-Ene-11	28-Ene-11	53,10	74,35	53,10
28-Ene-11	29-Ene-11	53,10	75,75	53,10
29-Ene-11	30-Ene-11	53,10	70,73	53,10
30-Ene-11	31-Ene-11	53,10	68,49	53,10
31-Ene-11	01-Feb-11	53,10	71,43	53,10
01-Feb-11	02-Feb-11	45,08	53,72	45,49
02-Feb-11	03-Feb-11	52,61	59,63	53,00
03-Feb-11	04-Feb-11	43,46	48,83	44,70
04-Feb-11	05-Feb-11	51,50	57,88	53,05
05-Feb-11	06-Feb-11	50,61	57,95	52,06
06-Feb-11	07-Feb-11	51,08	59,68	51,51
07-Feb-11	08-Feb-11	52,20	61,49	53,03
08-Feb-11	09-Feb-11	51,21	60,41	52,84
09-Feb-11	10-Feb-11	50,83	58,35	52,59
10-Feb-11	11-Feb-11	51,80	57,95	52,56
11-Feb-11	12-Feb-11	50,63	56,55	52,12
12-Feb-11	13-Feb-11	50,04	55,72	51,78
13-Feb-11	14-Feb-11	50,28	56,46	51,99
14-Feb-11	15-Feb-11	51,25	57,44	51,98
15-Feb-11	16-Feb-11	51,55	58,00	52,55
16-Feb-11	17-Feb-11	48,90	54,85	49,75
17-Feb-11	18-Feb-11	51,89	58,45	52,78
18-Feb-11	19-Feb-11	53,04	62,22	53,10
19-Feb-11	20-Feb-11	50,57	62,09	50,21

## Capítulo VI Anexos

---

20-Feb-11	21-Feb-11	51,81	58,89	52,87
21-Feb-11	22-Feb-11	50,80	57,70	52,55
22-Feb-11	23-Feb-11	51,15	57,62	52,42
23-Feb-11	24-Feb-11	52,22	60,27	52,78
24-Feb-11	25-Feb-11	52,78	61,15	52,91
25-Feb-11	26-Feb-11	52,72	61,26	53,02
26-Feb-11	27-Feb-11	51,52	59,13	51,99
27-Feb-11	28-Feb-11	51,41	58,82	52,19
28-Feb-11	01-Mar-11	41,93	46,60	43,34
01-Mar-11	02-Mar-11	37,52	40,58	37,17
02-Mar-11	03-Mar-11	36,67	42,62	36,03
03-Mar-11	04-Mar-11	45,03	50,70	47,59
04-Mar-11	05-Mar-11	49,32	55,57	50,58
05-Mar-11	06-Mar-11	53,10	60,04	53,10
06-Mar-11	07-Mar-11	53,10	60,70	53,10
07-Mar-11	08-Mar-11	52,95	59,70	53,10
08-Mar-11	09-Mar-11	48,57	52,75	49,29
09-Mar-11	10-Mar-11	49,90	53,74	51,29
10-Mar-11	11-Mar-11	52,39	57,32	53,00
11-Mar-11	12-Mar-11	52,71	58,99	53,10
12-Mar-11	13-Mar-11	53,07	60,21	53,10
13-Mar-11	14-Mar-11	52,93	61,39	53,02
14-Mar-11	15-Mar-11	52,78	58,65	53,10
15-Mar-11	16-Mar-11	51,87	57,62	52,38
16-Mar-11	17-Mar-11	52,55	58,32	52,95
17-Mar-11	18-Mar-11	41,20	43,34	41,18
18-Mar-11	19-Mar-11	52,50	60,03	52,97
19-Mar-11	20-Mar-11	53,10	60,73	53,10

## Capítulo VI Anexos

---

20-Mar-11	21-Mar-11	52,72	59,95	52,94
21-Mar-11	22-Mar-11	46,67	51,12	47,96
22-Mar-11	23-Mar-11	51,38	62,90	51,67
23-Mar-11	24-Mar-11	48,18	55,96	48,68
24-Mar-11	25-Mar-11	53,10	66,10	53,10
25-Mar-11	26-Mar-11	53,10	64,70	53,10
26-Mar-11	27-Mar-11	52,97	61,00	53,10
27-Mar-11	28-Mar-11	53,02	61,38	52,91
28-Mar-11	29-Mar-11	53,00	59,93	53,10
29-Mar-11	30-Mar-11	51,05	57,03	52,13
30-Mar-11	31-Mar-11	52,75	59,23	52,88
31-Mar-11	01-Abr-11	51,19	59,25	52,11
01-Abr-11	02-Abr-11	53,06	68,24	53,10
02-Abr-11	03-Abr-11	52,76	62,63	52,92
03-Abr-11	04-Abr-11	53,10	65,25	53,10
04-Abr-11	05-Abr-11	46,15	51,30	46,62
05-Abr-11	06-Abr-11	51,84	59,97	52,37
06-Abr-11	07-Abr-11	52,15	59,72	52,59
07-Abr-11	08-Abr-11	51,90	56,58	52,52
08-Abr-11	09-Abr-11	52,77	58,44	52,96
09-Abr-11	10-Abr-11	50,05	55,01	51,45
10-Abr-11	11-Abr-11	48,99	53,97	50,43
11-Abr-11	12-Abr-11	48,19	53,45	49,51
12-Abr-11	13-Abr-11	46,55	51,44	47,95
13-Abr-11	14-Abr-11	45,87	50,29	47,42
14-Abr-11	15-Abr-11	46,22	50,88	47,78
15-Abr-11	16-Abr-11	45,95	50,05	47,08
16-Abr-11	17-Abr-11	45,48	49,80	46,81

## Capítulo VI Anexos

---

17-Abr-11	18-Abr-11	51,82	57,08	52,63
18-Abr-11	19-Abr-11	46,20	50,84	47,02
19-Abr-11	20-Abr-11	45,04	50,09	46,47
20-Abr-11	21-Abr-11	40,95	44,92	42,17
21-Abr-11	22-Abr-11	48,98	53,30	50,64
22-Abr-11	23-Abr-11	47,53	52,43	49,72
23-Abr-11	24-Abr-11	46,61	51,31	48,62
24-Abr-11	25-Abr-11	48,24	53,41	49,91
25-Abr-11	26-Abr-11	48,13	53,04	50,15
26-Abr-11	27-Abr-11	49,39	54,43	51,24
27-Abr-11	28-Abr-11	48,41	53,03	50,10
28-Abr-11	29-Abr-11	47,23	51,90	48,94
29-Abr-11	30-Abr-11	47,92	52,69	49,81
30-Abr-11	01-May-11	47,17	51,27	48,59
01-May-11	02-May-11	46,85	51,13	48,46
02-May-11	03-May-11	46,48	50,59	47,95
03-May-11	04-May-11	36,95	39,36	37,56
04-May-11	05-May-11	43,93	47,97	45,57
05-May-11	06-May-11	43,98	47,70	45,18
06-May-11	07-May-11	48,00	52,25	49,81
07-May-11	08-May-11	47,11	50,81	48,30
08-May-11	09-May-11	46,53	50,21	47,74
09-May-11	10-May-11	46,64	50,92	48,42
10-May-11	11-May-11	46,58	50,73	48,20
11-May-11	12-May-11	47,32	51,65	49,35
12-May-11	13-May-11	49,49	53,94	51,34
13-May-11	14-May-11	50,98	55,56	52,47
14-May-11	15-May-11	51,59	57,01	52,70

## Capítulo VI Anexos

---

15-May-11	16-May-11	51,77	56,73	52,31
16-May-11	17-May-11	48,64	53,18	50,81
17-May-11	18-May-11	47,25	51,45	49,19
18-May-11	19-May-11	39,54	43,55	40,16
19-May-11	20-May-11	46,96	51,18	48,40
20-May-11	21-May-11	43,04	47,14	44,65
21-May-11	22-May-11	45,33	49,67	47,07
22-May-11	23-May-11	46,67	51,41	48,63
23-May-11	24-May-11	45,49	48,89	47,02
24-May-11	25-May-11	43,37	46,87	44,50
25-May-11	26-May-11	41,93	49,44	42,91
26-May-11	27-May-11	43,58	47,38	44,85
27-May-11	28-May-11	38,23	42,46	39,26
28-May-11	29-May-11	38,80	43,33	39,50
29-May-11	30-May-11	39,12	43,83	40,04
30-May-11	31-May-11	26,22	26,94	25,19
31-May-11	01-Jun-11	46,97	51,73	48,07
01-Jun-11	02-Jun-11	46,54	51,70	47,89
02-Jun-11	03-Jun-11	44,33	49,50	45,73
03-Jun-11	04-Jun-11	45,93	50,74	47,53
04-Jun-11	05-Jun-11	45,97	50,07	47,33
05-Jun-11	06-Jun-11	40,91	44,61	42,61
06-Jun-11	07-Jun-11	45,47	49,45	46,90
07-Jun-11	08-Jun-11	43,86	47,92	45,14
08-Jun-11	09-Jun-11	44,74	49,12	46,42
09-Jun-11	10-Jun-11	44,89	49,02	46,33
10-Jun-11	11-Jun-11	44,34	48,46	45,76
11-Jun-11	12-Jun-11	45,07	48,97	46,32

## Capítulo VI Anexos

12-Jun-11	13-Jun-11	45,49	49,44	47,07
13-Jun-11	14-Jun-11	44,80	48,78	46,02
14-Jun-11	15-Jun-11	45,30	49,29	46,46
15-Jun-11	16-Jun-11	43,54	47,49	44,81
16-Jun-11	17-Jun-11	42,20	45,74	43,12
17-Jun-11	18-Jun-11	43,21	47,02	44,98
18-Jun-11	19-Jun-11	40,90	44,55	42,60
19-Jun-11	20-Jun-11	40,68	44,53	41,97
20-Jun-11	21-Jun-11	39,30	42,55	40,36
21-Jun-11	22-Jun-11	33,17	35,36	33,70
22-Jun-11	23-Jun-11	40,55	45,00	42,18
23-Jun-11	24-Jun-11	44,79	50,05	46,34
24-Jun-11	25-Jun-11	44,37	49,67	45,68
25-Jun-11	26-Jun-11	43,86	48,67	45,25
26-Jun-11	27-Jun-11	43,35	47,59	44,90
27-Jun-11	28-Jun-11	41,60	45,46	42,49
28-Jun-11	29-Jun-11	40,19	44,35	41,27
29-Jun-11	30-Jun-11	37,52	41,91	38,67
30-Jun-11	01-Jul-11	39,21	44,48	40,95
01-Jul-11	02-Jul-11	40,18	44,84	41,50
02-Jul-11	03-Jul-11	36,84	41,26	37,90
03-Jul-11	04-Jul-11	35,50	41,35	36,79
04-Jul-11	05-Jul-11	38,00	43,31	39,53
05-Jul-11	06-Jul-11	42,55	47,70	44,47
06-Jul-11	07-Jul-11	24,09	24,14	23,95
07-Jul-11	08-Jul-11	44,90	54,32	46,56
08-Jul-11	09-Jul-11	22,85	21,39	22,18
09-Jul-11	10-Jul-11	15,13	15,16	15,13

## Capítulo VI Anexos

10-Jul-11	11-Jul-11	28,23	30,90	29,05
11-Jul-11	12-Jul-11	31,59	30,17	30,72
12-Jul-11	13-Jul-11	15,44	20,84	17,84
13-Jul-11	14-Jul-11	13,45	15,94	13,16
14-Jul-11	15-Jul-11	10,97	11,82	11,74
15-Jul-11	16-Jul-11	7,54	7,69	8,66
16-Jul-11	17-Jul-11	5,58	7,64	6,17
17-Jul-11	18-Jul-11	6,78	9,18	7,67
18-Jul-11	19-Jul-11	11,26	13,55	8,66
19-Jul-11	20-Jul-11	20,32	21,18	20,63
20-Jul-11	21-Jul-11	48,01	51,30	47,02
21-Jul-11	22-Jul-11	53,10	65,18	53,10
22-Jul-11	23-Jul-11	53,10	67,13	53,10
23-Jul-11	24-Jul-11	53,10	65,94	53,10
24-Jul-11	25-Jul-11	53,10	63,03	53,10
25-Jul-11	26-Jul-11	53,10	63,23	53,10
26-Jul-11	27-Jul-11	53,10	60,30	52,94
27-Jul-11	28-Jul-11	53,10	61,85	52,74
28-Jul-11	29-Jul-11	53,10	63,76	53,06
29-Jul-11	30-Jul-11	53,10	64,45	53,10
30-Jul-11	31-Jul-11	53,10	64,33	53,10
31-Jul-11	01-Ago-11	53,10	45,53	40,64
01-Ago-11	02-Ago-11	53,10	23,05	21,85
02-Ago-11	03-Ago-11	53,10	62,73	52,86
03-Ago-11	04-Ago-11	52,96	59,77	53,04
04-Ago-11	05-Ago-11	51,92	61,47	52,59
05-Ago-11	06-Ago-11	44,78	51,48	48,08
06-Ago-11	07-Ago-11	45,39	51,80	48,36



## Capítulo VI Anexos

07-Ago-11	08-Ago-11	44,78	51,17	47,63
08-Ago-11	09-Ago-11	46,32	53,00	49,31
09-Ago-11	10-Ago-11	48,23	55,67	50,67
10-Ago-11	11-Ago-11	49,54	56,69	52,07
11-Ago-11	12-Ago-11	50,84	57,81	52,86
12-Ago-11	13-Ago-11	52,61	59,23	53,13
13-Ago-11	14-Ago-11	53,10	59,45	53,14
14-Ago-11	15-Ago-11	53,10	55,76	51,82
15-Ago-11	16-Ago-11	53,10	55,76	51,44
16-Ago-11	17-Ago-11	53,10	54,21	50,18
17-Ago-11	18-Ago-11	53,10	54,21	50,59
18-Ago-11	19-Ago-11	53,10	55,30	51,07
19-Ago-11	20-Ago-11	53,10	56,09	52,24
20-Ago-11	20-Ago-11	53,10	56,46	52,33
20-Ago-11	22-Ago-11	53,10	58,60	52,72
22-Ago-11	23-Ago-11	53,10	58,76	52,55
23-Ago-11	24-Ago-11	53,10	53,30	49,29
24-Ago-11	25-Ago-11	53,10	56,67	51,88
25-Ago-11	26-Ago-11	53,08	56,23	51,82
26-Ago-11	27-Ago-11	52,16	55,80	51,61
27-Ago-11	28-Ago-11	50,80	57,23	52,31
28-Ago-11	29-Ago-11	50,71	57,25	52,13
29-Ago-11	30-Ago-11	49,74	56,04	51,98
30-Ago-11	31-Ago-11	50,18	55,59	51,32
31-Ago-11	01-Sep-11	53,10	42,90	40,49
01-Sep-11	02-Sep-11	52,12	56,76	52,45
02-Sep-11	03-Sep-11	50,43	56,34	52,06
03-Sep-11	04-Sep-11	50,48	53,32	49,86

## Capítulo VI Anexos

04-Sep-11	05-Sep-11	53,05	52,49	49,07
05-Sep-11	06-Sep-11	47,34	52,78	49,27
06-Sep-11	07-Sep-11	48,51	53,10	49,65
07-Sep-11	08-Sep-11	49,88	55,72	51,58
08-Sep-11	09-Sep-11	46,80	52,96	49,22
09-Sep-11	10-Sep-11	48,23	54,22	50,26
10-Sep-11	11-Sep-11	48,70	54,86	50,88
11-Sep-11	12-Sep-11	48,60	54,86	50,75
12-Sep-11	13-Sep-11	49,15	54,91	51,49
13-Sep-11	14-Sep-11	48,72	55,15	51,07
14-Sep-11	15-Sep-11	46,24	52,05	48,20
15-Sep-11	16-Sep-11	51,16	57,39	52,39
16-Sep-11	17-Sep-11	48,12	53,86	50,22
17-Sep-11	18-Sep-11	31,78	33,73	31,88
18-Sep-11	19-Sep-11	52,36	60,16	53,10
19-Sep-11	20-Sep-11	51,30	57,31	52,49
20-Sep-11	21-Sep-11	50,93	56,93	52,04
21-Sep-11	22-Sep-11	49,75	55,58	51,57
22-Sep-11	23-Sep-11	49,87	56,07	52,02
23-Sep-11	24-Sep-11	49,87	56,45	52,00
24-Sep-11	25-Sep-11	45,61	51,21	47,59
25-Sep-11	26-Sep-11	51,03	57,97	52,74
26-Sep-11	27-Sep-11	50,10	56,48	52,32
27-Sep-11	28-Sep-11	51,07	58,13	52,45
28-Sep-11	29-Sep-11	51,45	57,54	52,80
29-Sep-11	30-Sep-11	50,86	56,84	52,38
30-Sep-11	01-Oct-11	50,87	56,46	52,42
01-Oct-11	02-Oct-11	51,41	57,08	52,70

## Capítulo VI Anexos

---

02-Oct-11	03-Oct-11	50,71	56,80	52,29
03-Oct-11	04-Oct-11	50,84	54,12	50,16
04-Oct-11	05-Oct-11	51,58	57,56	52,94
05-Oct-11	06-Oct-11	52,16	57,58	52,66
06-Oct-11	07-Oct-11	50,30	56,62	52,13
07-Oct-11	08-Oct-11	50,99	57,80	52,88
08-Oct-11	09-Oct-11	51,29	59,38	52,50
09-Oct-11	10-Oct-11	47,92	54,21	50,50
10-Oct-11	11-Oct-11	47,58	54,47	50,52
11-Oct-11	12-Oct-11	48,26	54,87	50,52
12-Oct-11	13-Oct-11	51,62	58,58	52,65
13-Oct-11	14-Oct-11	50,64	57,28	52,43
14-Oct-11	15-Oct-11	50,47	57,49	52,31
15-Oct-11	16-Oct-11	49,02	55,01	50,90
16-Oct-11	17-Oct-11	48,42	54,19	50,45
17-Oct-11	18-Oct-11	49,52	55,87	51,88
18-Oct-11	19-Oct-11	50,98	57,75	52,46
19-Oct-11	20-Oct-11	49,20	55,21	51,22
20-Oct-11	21-Oct-11	50,00	56,11	51,93
21-Oct-11	22-Oct-11	51,76	58,12	52,92
22-Oct-11	23-Oct-11	51,97	58,14	52,82
23-Oct-11	24-Oct-11	51,48	57,36	52,31
24-Oct-11	25-Oct-11	50,50	56,40	52,33
25-Oct-11	26-Oct-11	49,98	54,89	51,28
26-Oct-11	27-Oct-11	36,14	38,61	36,95
27-Oct-11	28-Oct-11	46,92	51,54	48,26
28-Oct-11	29-Oct-11	47,60	52,43	48,77
29-Oct-11	30-Oct-11	51,49	57,42	52,71

## Capítulo VI Anexos

30-Oct-11	31-Oct-11	51,13	56,60	52,27
31-Oct-11	01-Nov-11	50,76	55,81	51,87
01-Nov-11	02-Nov-11	50,78	56,55	52,70
02-Nov-11	03-Nov-11	48,39	53,17	50,07
03-Nov-11	04-Nov-11	51,32	57,39	52,87
04-Nov-11	05-Nov-11	40,24	42,87	40,52
05-Nov-11	06-Nov-11	52,12	59,48	53,03
06-Nov-11	07-Nov-11	52,11	59,49	52,94
07-Nov-11	08-Nov-11	51,63	58,33	52,96
08-Nov-11	09-Nov-11	52,92	60,66	53,12
09-Nov-11	10-Nov-11	51,89	57,87	53,00
10-Nov-11	11-Nov-11	51,16	57,69	52,22
11-Nov-11	12-Nov-11	51,98	58,50	52,83
12-Nov-11	13-Nov-11	50,51	56,53	52,63
13-Nov-11	14-Nov-11	48,51	54,37	51,17
14-Nov-11	15-Nov-11	48,24	54,05	51,04
15-Nov-11	16-Nov-11	48,37	54,30	51,12
16-Nov-11	17-Nov-11	51,62	58,29	53,04
17-Nov-11	18-Nov-11	39,85	41,84	39,83
18-Nov-11	19-Nov-11	45,98	53,28	46,42
19-Nov-11	20-Nov-11	52,32	60,11	52,91
20-Nov-11	21-Nov-11	51,29	57,43	52,79
21-Nov-11	22-Nov-11	52,28	60,19	52,97
22-Nov-11	23-Nov-11	52,80	59,81	53,06
23-Nov-11	24-Nov-11	52,23	59,73	52,91
24-Nov-11	25-Nov-11	52,49	59,73	53,02
25-Nov-11	26-Nov-11	52,06	60,54	52,15
26-Nov-11	27-Nov-11	52,99	62,72	53,06

## Capítulo VI Anexos

27-Nov-11	28-Nov-11	52,75	60,53	53,10
28-Nov-11	29-Nov-11	51,37	60,18	52,38
29-Nov-11	30-Nov-11	51,36	58,24	52,98
30-Nov-11	01-Dic-11	51,04	57,51	52,91
01-Dic-11	02-Dic-11	39,94	39,91	39,98
02-Dic-11	03-Dic-11	51,96	60,87	52,37
03-Dic-11	04-Dic-11	43,75	48,27	44,42
04-Dic-11	05-Dic-11	52,43	59,49	52,89
05-Dic-11	06-Dic-11	52,74	60,52	53,10
06-Dic-11	07-Dic-11	52,93	61,01	52,96
07-Dic-11	08-Dic-11	51,44	57,99	51,94
08-Dic-11	09-Dic-11	52,80	61,14	52,90
09-Dic-11	10-Dic-11	52,73	63,15	53,07
10-Dic-11	11-Dic-11	51,62	60,28	52,09
11-Dic-11	12-Dic-11	52,77	59,76	52,87
12-Dic-11	13-Dic-11	51,50	59,48	52,15
13-Dic-11	14-Dic-11	51,02	58,52	51,37
14-Dic-11	15-Dic-11	48,30	56,73	49,81
15-Dic-11	16-Dic-11	44,34	51,23	48,52
16-Dic-11	17-Dic-11	41,62	48,41	45,78
17-Dic-11	18-Dic-11	39,46	45,89	43,59
18-Dic-11	19-Dic-11	42,90	50,51	47,94
19-Dic-11	20-Dic-11	43,15	49,73	47,25
20-Dic-11	21-Dic-11	36,95	42,05	40,11
21-Dic-11	22-Dic-11	47,26	54,76	51,55
22-Dic-11	23-Dic-11	44,94	51,72	48,70
23-Dic-11	24-Dic-11	44,18	50,63	47,89
24-Dic-11	25-Dic-11	41,20	48,19	44,08

## Capítulo VI Anexos

---

25-Dic-11	26-Dic-11	45,11	52,81	49,61
26-Dic-11	27-Dic-11	42,73	49,95	46,74
27-Dic-11	28-Dic-11	41,24	48,21	45,45
28-Dic-11	29-Dic-11	39,07	45,97	43,37
29-Dic-11	30-Dic-11	30,82	38,39	36,59
30-Dic-11	31-Dic-11	27,73	35,16	33,27
31-Dic-11	01-Ene-12	27,57	34,74	33,42
01-Ene-12	02-Ene-12	27,00	34,58	33,00
02-Ene-12	03-Ene-12	27,47	34,70	33,17
03-Ene-12	04-Ene-12	27,61	34,64	32,80
04-Ene-12	05-Ene-12	27,93	34,35	33,13
05-Ene-12	06-Ene-12	25,85	31,91	30,16
06-Ene-12	07-Ene-12	27,27	34,22	32,72
07-Ene-12	08-Ene-12	28,55	35,38	34,00
08-Ene-12	09-Ene-12	25,94	32,23	29,62
09-Ene-12	10-Ene-12	32,27	39,48	38,04
10-Ene-12	11-Ene-12	31,07	38,12	36,73
11-Ene-12	12-Ene-12	32,06	39,24	38,03
12-Ene-12	13-Ene-12	31,44	38,61	37,38
13-Ene-12	14-Ene-12	29,83	36,87	35,31
14-Ene-12	15-Ene-12	31,84	39,18	38,08
15-Ene-12	16-Ene-12	30,64	38,38	36,54
16-Ene-12	17-Ene-12	29,88	36,79	35,68
17-Ene-12	18-Ene-12	28,27	34,77	33,34
18-Ene-12	19-Ene-12	30,40	36,97	35,82
19-Ene-12	20-Ene-12	29,80	37,10	35,61
20-Ene-12	21-Ene-12	31,09	38,28	36,62
21-Ene-12	22-Ene-12	31,18	38,01	36,72

## Capítulo VI Anexos

---

22-Ene-12	23-Ene-12	30,63	37,85	36,04
23-Ene-12	24-Ene-12	31,28	38,29	37,11
24-Ene-12	25-Ene-12	31,39	38,39	37,01
25-Ene-12	26-Ene-12	29,44	36,58	34,08
26-Ene-12	27-Ene-12	27,63	36,86	29,37
27-Ene-12	28-Ene-12	32,62	39,99	37,92
28-Ene-12	29-Ene-12	32,57	40,00	37,78
29-Ene-12	30-Ene-12	35,19	42,31	40,30
30-Ene-12	31-Ene-12	34,78	41,92	39,65
31-Ene-12	01-Feb-12	34,49	41,57	39,43
01-Feb-12	02-Feb-12	35,47	42,79	40,63
02-Feb-12	03-Feb-12	33,23	40,01	37,79
03-Feb-12	04-Feb-12	32,98	39,02	37,26
04-Feb-12	05-Feb-12	33,89	40,59	38,52
05-Feb-12	06-Feb-12	32,55	39,38	36,87
06-Feb-12	07-Feb-12	33,58	40,31	37,93
07-Feb-12	08-Feb-12	28,52	33,12	31,76
08-Feb-12	09-Feb-12	36,50	43,35	41,45
09-Feb-12	10-Feb-12	36,32	42,76	40,99
10-Feb-12	11-Feb-12	34,62	40,46	38,83
11-Feb-12	12-Feb-12	35,40	41,32	39,69
12-Feb-12	13-Feb-12	34,80	40,87	39,24

**G. Cotizaciones de instrumentos y equipos.**

**G-1. Cotizaciones de Instrumentaciones.**



**YEW CHILE**  
Instrumentación y Analítica Industrial



**Cotización** N°: 4202  
Rev.: 1

Importación, Exportación y Distribución de Artículos Electrónicos  
R.U.T: 78.626.800-1

Vendedor: Juan Carlos Tapia

ITEM	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	Precio Unitario USD	MONTO TOTAL USD	Plazo de Entrega (Semanas)
1.1	2	TRANSMISOR DE PH, MARCA ABB CODIGO YEW : YTPH-TB84	2.250,00	4.500,00	8
1.2	2	SENSOR DE PH, MARCA ABB CODIGO YEW : YSPH-TB567	875,00	1.750,00	8
2.1	2	TRANSMISOR DE CONDUCTIVIDAD, MARCA ABB CODIGO YEW : YTC-TB84	2.250,00	4.500,00	8
2.2	2	SENSOR DE CONDUCTIVAD, MARCA ABB CODIGO YEW : YSC-AC211	850,00	1.700,00	8
3	2	TRANSMISOR DE NIVEL ULTRASONIDO , VEGA CODIGO YEW : YLT-VEG61	1.532,00	3.064,00	5
4	1	ANALIZADOR DUREZA AGUA POTABLE (ion CaCO3), HACH CODIGO YEW : YATIC-SP510 Rango: 0-100 ppm	3.606,00	3.606,00	8
<b>TOTAL USD</b>				<b>19.120,00</b>	<b>+ I.V.A.</b>





**Pre245-12**

Señores  
**CODELCO**  
At: Sr. Waldo Urzúa  
E-mail: [WUrzua@odelco.cl](mailto:WUrzua@odelco.cl)  
**PRESENTE**

De acuerdo a lo solicitado, nos es muy grato hacer llegar Presupuesto N° **Pre245-12**, por el siguiente detalle.

**1.- COTIZACIÓN:**

Ítem	Descripción	N°	Neto	Total Neto
1	Mini controlador de pH en línea BL 9814	1	\$ 336.232	\$ 336.232
2	Electrodo pH combinado p/aplicaciones a alta	1	\$ 220.152	\$ 220.152
3	Mini controlador de Conductividad en línea	1	\$ 196.563	\$ 196.563
4	Sonda de Conductividad	1	\$ 72.050	\$ 72.050
5	Medidor de Caudal Ultrasonico por tiempo de transito	1	\$ 1.989.510	\$ 1.989.510

**2.- CONDICIONES GENERALES:**

Forma de pago : 30 días fecha de factura.  
Plazo de entrega : 15 a 20 días.  
Lugar de entrega : Bodegas Proequipos en Santiago o a convenir.  
Garantía : 12 meses  
Servicio Técnico : Servicio técnico especializado y repuestos.

Gracias por permitirnos atender su requerimiento, saludos cordiales,

**Christian Velandia M.**  
Ingeniero de Ventas Técnicas  
[chvelandia@proequipos.com](mailto:chvelandia@proequipos.com)



**G-2. Cotizaciones de Rellenos de las torres y dispersores.**



Máquinas, Insumos y Servicios  
Industriales desde 1928

**Cotización  
N° 4104**

1 / 1

Cliente Corporación Nacional del Cobre de Chile Santiago, 12 de Septiembre 2011  
Telefono 32-933540  
Contacto Cristian Lazo

Estimados Señores :  
De acuerdo a lo solicitado por ustedes, tenemos el agrado de cotizar lo siguiente:

Item	Codigo	Cantidad	Descripción	Unitario \$	Total \$
1	CORTD15PVC1	144	Cortagota D-15 PVC.1200x300x130 mm	20.000	2.880.000
2	PANELC21PVC	432	Panel de relleno de PVC. OF21. 1200x300x300mm	20.000	8.640.000
				Total	11.520.000

Observaciones Oferta para 4 torres de enfriamiento. Cada torre contiene 108 paneles y 36 cortagotas.



Máquinas, Insumos y Servicios  
Industriales desde 1928

**Cotización  
N° 4106**

1 / 1

Cliente Corporación Nacional del Cobre de Chile Santiago, 12 de Septiembre 2011  
Telefono 32-933540  
Contacto Cristian Lazo

Estimados Señores :  
De acuerdo a lo solicitado por ustedes, tenemos el agrado de cotizar lo siguiente:

Item	Codigo	Cantidad	Descripción	Unitario \$	Total \$
1	PANELC21PVC	432	Panel de relleno de PVC. OF21. 1200x300x300mm	20.000	8.640.000
2	CORTD15PVC1	144	Cortagota D-15 PVC.1200x300x130 mm	20.000	2.880.000
3	2000PSA	4	Servicio de mantención	2.030.000	8.120.000
Servicio de mantención con un supervisor.					
				Total	19.640.000

Observaciones Plazo de entrega material: 10 dias.  
Plazo entrega mantención con un supervisor: 2-3 dias por torre.

# Capítulo VI Anexos



## HAMON ESINDUS LATINOAMERICA

RUT: 76154599-K

OFICINA CHILE

CRUZ DEL SUR N°133 OF 301 - LAS CONDES

Fono- Fax: 56-2-2238172

Señores

**CODELCO - SALVADOR**

SANTIAGO

Chile

Atención Sr.(a):

**Raul Aguirre Sarria**

**COTIZACION N° 5L-3029-0-CL**

Fecha : septiembre 15, 2011

Cotizado por **Adolfo Medina**

Plazo entrega **4 a 6 Semanas  
su orden de compra.**

Lugar entrega **Bodegas Codelco Santiago Chile**

Item	Descripción	Código	Unid.	Cant.	P.Unit	Subtotal
1,00	Torre de Refrigeración Abierta en Poliéster Modelo VAP 35-30. Incluye Balsa con persianas, escalera de acceso		UNI	1	42.000	42.000
2,00	Conjunto Relleno Laminar En caso de pedido es necesario conocer el año de fabricación a fin de determinar la medida de los módulos de relleno	SNCS20	UNI	1	2.500	2.500
3,00	Dispensor francés completo incluyendo soporte PM anillo Ø100 y tobera  Descripción ITEM 1. <b>Incluye.</b> • Diseño térmico, mecánico e hidráulico de la torre de refrigeración. • Plano de disposición general, formas, cargas, y planos de la torre de refrigeración. • Manuales de operación. • Boya de nivel para aporte. • Resistencia eléctrica en balsa. • Interruptor de nivel.  <b>Excluye</b> • Bombas de recirculación de agua, conexiones de reposición, drenaje, purga y conexiones desde la brida de entrada a la tubería de agua. • Tuberías de agua caliente de proceso hasta las bridas de entrada al intercambiador. • Planos de fundación del sistema. • Transporte a planta. • Medios de elevación y descarga. • Montaje de las dos celdas.	T00829	UNI	36	50	1.800
<b>Valores NO incluyen I.V.A.</b>					<b>TOTAL EUR</b>	<b>46.300</b>
<u>Otras condiciones de venta:</u> Pagadero en moneda nacional al tipo cambio EUR informado por el Banco Central el día del despacho.						

**G-3. Cotizaciones de Válvulas y Fluómetros**



**VETO Y CIA. LTDA.**  
 RUT: 82.525.800-0  
 San Eugenio 567 ÑUÑO A, SANTIAGO  
 CODIGO POSTAL 7780008  
 GIRO: Venta Equipo Profesional, Científico  
 FONO: (02)3554400 FAX: (02)3554455  
 ventas@veto.cl - www.veto.cl

**COTIZACION N°  
 288095MO/12**  
 Santiago, 31/08/2012 13:13:47

CLIENTE : CORPORACION NACIONAL DEL COBRE DE CHILE RUT : 61704000-K  
 FONONO : (72) 295446 FAX : 727536  
 MAIL : wurzua@codelco.cl  
 ATENCION : SR. WALDO URZUA QUEZADA  
 REFERENCIA : SU SOLICITUD DE COT. NR. 9683/WEB ALTERNATIVA(S)

CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	PRECIO LISTA	%DCTO	PRECIO OFERTA	SUB TOTAL
1 N0635005	Flujometro marca RCM(USA) 2 " NPTF bronce, 400 LPM / 105 GPM	1,0	947.518	12,5	829.078	829.078
2 N0640009	Flujometro marca RCM(USA) 3 " NPTF bronce, 800 LPM / 200 GPM	1,0	1.004.605	12,5	879.029	879.029
3 N0640548	FLUJOMETRO TOTALIZADOR PP 70-700 LPM 2 NPT	1,0	409.157	12,5	358.012	358.012
4 N0640556	FLUJOM TOT PP 250-2500 LPM, para Diametro Caneria 3"	1,0	363.569	12,5	318.123	318.123
5 N0640564	FLUJOM TOT PP 400-4000 LPM, para Diametro Caneria 4"	1,0	377.861	12,5	330.628	330.628
6 C8303031	MANOMETRO DIGITAL, ESFERA 63mm, CONEXIÓN INOX SS316 HILO 1/2 NPT, RANGO 0 7 BARG	1,0	77.925	12,5	68.184	68.184

**\*\* PRECIOS EN PESOS, NO INCLUYEN IVA \*\***

Tabla G-1: Precios Válvulas

Válvulas de control	Marca	USD
3/4"	Comeval	190
1"	Comeval	193
2"	Comeval	206
3"	Comeval	314

## **Bibliografía**

## Capítulo VII Bibliografía

---

- Manual descripción general Proyecto Cambio Tecnológico Fundición Potrerillos, REV 1. CODELCO CHILE – DIVISION SALVADOR. Septiembre 2002.
- Manual de Proceso Convertidor Teniente, REV 1. CODELCO CHILE – DIVISION SALVADOR. Octubre 2002.
- Bases Técnicas Servicio integral de tratamiento de Aguas GOFURE 2008-2012, Gerencia Operaciones Fundición Refinería CODELCO-CHILE DIV. SALVADOR. 2007.
- Oferta Técnica Servicio Integral de tratamiento de Aguas GOFURE 2009-2012, Proceso N° GCAB-SA-08/218. Aguas Industriales Ltda. AGUASIN.
- Manual de operaciones Planta de Agua, Proyecto Maligas CODELCO-CHILE DIV. SALVADOR; JRI – COMPRIM; 1997
- Técnicas Analíticas de campo; J.R. Fagundo Castillo, J. Pajón Morejón.
- Sistema de Gestión, Determinación de Ca y Mg, utilizando equipo de Plasma Varian Vista PRO. CODELCO-CHILE DIV. SALVADOR
- Sistema de Gestión, Operación y Determinación de Cloruros con Titulador Automático Mettler Toledo DL50. CODELCO-CHILE DIV. SALVADOR

## **Glosario**

**Ablandadores de agua:** Equipo que transforma los iones de calcio y magnesio (sales incrustantes que están presentes en el agua) en iones de sodio, sales solubles que no dejan depósitos.

**Agua blanda:** Cualquier agua que no contiene grandes concentraciones de minerales disueltos como calcio y magnesio.

**Agua industrial:** Agua dura para procesos industriales, con un alto contenido de minerales, es especial minerales de calcio y magnesio, poco solubles, principales responsables de la formación de depósitos e incrustaciones.

**Agua potable:** Agua que reúne los requisitos organolépticos (olor, sabor y percepción visual), físicos, químicos y microbiológicos, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a la salud.

**Anticorrosivo:** Sustancia que sirve para proteger una superficie de un proceso de degradación llamado corrosión.

**Antincrustantes:** Compuesto químico que tiene la propiedad de evitar que las sales del agua se depositen (precipiten) en conducciones, depósitos, o cualquier superficie. Normalmente estas sales son carbonatos, silicatos y sulfatos de calcio.

**Conductividad:** La cantidad de electricidad que un agua puede conducir Esta capacidad depende de la presencia de iones en el agua.

**Caudal:** Volumen de agua por unidad de tiempo.

**CT5:** Convertidor Teniente de 5 m.

**CPS:** Convertidor Peirce – Smith.

**Evaporación:** El proceso de pasar el agua de forma líquida a gaseosa.

**Filtración:** Separación de sólidos y líquidos usando una sustancia porosa que solo permite pasar al líquido a través de él.



**Filtración de arena:** La filtración de arena es frecuentemente usada y es un método muy robusto para eliminar los sólidos suspendidos en el agua. El medio de filtración consiste en múltiples capas para arenas con variedad en el tamaño y gravedad específica.

**HLE:** Horno limpieza de escoria.

**HA:** Horno Anódico.

**Incrustación:** Son depósitos minerales que pueden recubrir las partes internas de equipos, como tuberías de intercambio de calor, en donde cierto tipo de agua circula.

**Intercambiador de calor:** Componente que es utilizado para quitar calor de o ceder calor a un líquido

**Make Up:** Agua de reposición.

**PI System:** Sistema de Información de Planta.

**Proceso de concentración:** El proceso de incremento del número de partículas por unidad de volumen de una disolución, usualmente por evaporación del líquido.

**Purga:** cantidad de agua evacuada desde algún proceso de circulación de agua con el fin de mantener equilibrio en ciclos de concentración.

**RIL:** Residuos industriales líquidos.

**Sistema de tratamiento:** Conjunto de operaciones y procesos físicos, químicos y/o biológicos, cuya finalidad es depurar la calidad del agua a la que se aplican.

**Sólidos disueltos:** Materiales sólidos que se disuelven totalmente en agua y pueden ser eliminados por filtración.