

Universidad de Valparaíso  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Industrial



Propuesta de Modelo de Gestión de Activos  
Para aumentar el nivel de confiabilidad y reducir  
los costos asociados a equipos en plantas de ESVAL S.A.

Por:

Macarena León León  
Sofía Olivares Cáceres

Trabajo de Título para optar al Grado de  
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y título de  
Ingeniero Civil Industrial

Profesor Guía: Luís Seccatore

2017

## Agradecimientos

Macarena León

*Este camino ha tenido altos y bajos, y en cada momento me acompañaron personas muy importantes a las que quiero infinitamente y que compartieron mis alegrías y más aún mis momentos donde las energías bajaban. Es por esto que no puedo dejar de reconocer y agradecer:*

*En primer lugar, a mis padres, Ana y José que sin su apoyo incondicional no estaría en este lugar, siempre me entregaron una palabra de aliento cuando la necesite y se emocionaron con mis alegrías, me entregaron contención, comprensión, y sobretodo confianza en cada paso.*

*A mi hermana, Lorena que me animó en cada momento diciendo: “te irá bien, eres seca enana”, y que nunca dudo de mí, incluso cuando yo si lo hacía.*

*A Felipe, mi amor, mi compañero, mi mejor amigo, que día a día me alentó a dar más, gracias por la contención, por ser el cable a tierra y a la vez el escape de la realidad, por los consejos y por estar ahí, compartiendo mis risas y mis frustraciones.*

*A mi familia y padrinos, que siempre están, que apoyan mis decisiones y que me entregan todo su cariño.*

*A mis amigos de la vida, gracias por ser parte de este proceso y acompañarme en el momento justo.*

*A nuestro profesor Guía, Luis Seccatore, que nos impulsó a avanzar, motivándonos a dar más, compartiendo sus conocimientos y acompañándonos en las dudas, como el gran maestro que es. Gracias Profesor.*

*A Sofía mi amiga y compañera: Comenzamos este largo camino y ahora juntas llegamos a la ansiada meta, pasamos miles de momentos que hicieron de esto una verdadera aventura y ahora solo puedo decir, gracias siamesa, por la paciencia y el apoyo, no sería lo mismo sin ti. ¡Lo logramos!*

*“De eso se trata, de coincidir con gente que te haga ver cosas que tú no ves. Que te enseñen a mirar con otros ojos” (Mario Benedetti)*

*Sofía Olivares*

*Gracias a la empresa ESVAL y sus colaboradores*

*Virginia, Osvaldo, Miguel Ángel, Cristina, Iván, Constanza, Francisco, Gabriel, Gerardo, Leonardo, Cristina... La sangre sólo hace parientes, el amor hace Familia... Gracias por darme las herramientas para avanzar cada día...El camino fue largo, pero he aquí el resultado.*

*Gabriel, sólo el amor convierte en milagro el barro... Gracias por apoyarme en convertir cada detalle en un milagro.*

*Profesor Luís Seccatore, un Maestro avanzado es cauto y enseña tan sólo lo que debe enseñar... Usted es ese Maestro. Gracias por elegirnos, por guiarnos y por compartir con nosotros su conocimiento.*

*Macarena, la amistad no se trata de ser inseparables, sino de estar separados y que nada cambie... Al comienzo dijimos "Después de la memoria hay dos opciones: Nos odiamos o terminamos siendo inseparables" Y ahora tengo una siamesa... Gracias por la paciencia...*

***Después de todo, ¡¡Lo hicimos!!***

*"Es preciso soñar, pero con la condición de creer en nuestros sueños. De examinar con atención la vida real, de confrontar nuestra observación con nuestros sueños, y de realizar escrupulosamente nuestra fantasía" (Vladimir Ilich Uliánov)*

## Índice

<b>Agradecimientos .....</b>	<b>2</b>
<b>Índice.....</b>	<b>4</b>
<b>Lista de Abreviaturas.....</b>	<b>7</b>
<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>8</b>
<b>Lista de Tablas.....</b>	<b>9</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>11</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>12</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>13</b>
<b>2. Descripción de la Empresa .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Misión, Visión y Valores .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Actividad de la Empresa .....</b>	<b>15</b>
2.2.1 Zonas de Servicio.....	15
2.2.2 Proceso General.....	16
<b>2.3 Tipos de Plantas de ESVAL.....</b>	<b>19</b>
2.3.1 Planta de Producción de Agua Potable .....	19
2.3.2 Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas .....	20
2.3.3 Plantas por Zonal .....	22
<b>3. Metodología de Análisis para la Situación Actual y Planteamiento del Problema ..</b>	<b>25</b>
<b>3.1 Metodología de Análisis .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2 Análisis situación actual de las Plantas .....</b>	<b>38</b>
3.2.1 PPAP Poza Azul.....	38
3.2.2 PPAP Peñuelas.....	43
3.2.3 PPAP Concón.....	48
3.2.4 PTAS Higuerillas .....	53
3.2.5 PTAS 2 Norte .....	58
3.2.6 PTAS Loma Larga .....	63
3.2.7 PTAS Puchuncaví (LA).....	68
3.2.8 PTAS Casablanca (LA) .....	73
3.2.9 PTAS Placilla (LA).....	78
<b>3.3 Resumen de Criterios.....</b>	<b>83</b>
<b>3.4 Planteamiento del Problema .....</b>	<b>87</b>

<b>4. Objetivos .....</b>	<b>88</b>
<b>4.1 Objetivo General .....</b>	<b>88</b>
<b>4.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>88</b>
<b>5. Marco Teórico.....</b>	<b>89</b>
<b>5.1 Gestión de Activos .....</b>	<b>89</b>
<b>5.2 Concepto de Confiabilidad .....</b>	<b>90</b>
5.2.1 Confiabilidad de equipos .....	90
5.2.2 Confiabilidad de sistemas.....	91
5.2.3 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.....	91
<b>5.3 Desarrollo de una Estrategia de Mantenimiento .....</b>	<b>91</b>
5.3.1 Mantenimiento Correctivo.....	92
5.3.2 Mantenimiento Preventivo .....	92
5.3.3 Selección de una estrategia de Mantenimiento .....	94
<b>6. Marco Metodológico .....</b>	<b>96</b>
<b>6.1 Fase 1: Estrategia de confiabilidad .....</b>	<b>96</b>
6.1.1 Análisis Funcional.....	98
6.1.2 Análisis de modo de falla y sus efectos (AMFE).....	98
<b>6.2 Fase 2: Recomendación Plan de Mantenimiento.....</b>	<b>99</b>
6.2.1 Tareas de mantenimiento.....	100
<b>6.3 Fase 3: Plan general de Gestión de activos físicos .....</b>	<b>103</b>
6.3.1 Procedimiento Operativo Estándar y Plan de Mantenimiento.....	103
<b>7. Metodología Aplicada.....</b>	<b>105</b>
<b>7.1 PPAP Concón.....</b>	<b>105</b>
Identificación del Elemento a Analizar.....	105
Determinación de las funciones del elemento .....	106
Análisis modo y efectos de falla .....	107
Tareas de Mantenimiento.....	107
Procedimiento Operativo Estándar y Plan de Mantenimiento .....	110
<b>7.2 PTAS 2 Norte (Emisario) .....</b>	<b>112</b>
Identificación del Elemento a Analizar.....	112
Determinación de las funciones del elemento .....	113
Análisis modo y efectos de falla .....	113
Tareas de Mantenimiento.....	114
Procedimiento Operativo Estándar y Plan de Mantenimiento .....	118
<b>7.3 PTAS Placilla (LA).....</b>	<b>120</b>

Identificación del Elemento a Analizar.....	120
Determinación de las funciones del elemento .....	121
Análisis modo y efectos de falla .....	121
Tareas de Mantenimiento.....	121
Procedimiento Operativo Estándar y Plan de Mantenimiento .....	124
<b>7.4 Reporte de Defectos.....</b>	<b>126</b>
<b>8. Análisis de Costos.....</b>	<b>127</b>
<b>8.1 Situación Actual.....</b>	<b>127</b>
<b>8.2 Situación Propuesta.....</b>	<b>128</b>
<b>9. Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>132</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>133</b>
<b>Anexo A: Análisis AHP Agua Potable .....</b>	<b>133</b>
<b>Anexo B: Análisis AHP Aguas Servidas .....</b>	<b>143</b>
<b>Anexo C: Dependencias PPAP.....</b>	<b>151</b>
<b>Anexo D: Dependencias PTAS – Emisarios .....</b>	<b>154</b>
<b>Anexo E: Dependencias PTAS – LA.....</b>	<b>157</b>
<b>Anexo F: Gastos de Mantenimiento .....</b>	<b>160</b>
<b>Anexo G: Capacitación RCM CIDES Corpotraining.....</b>	<b>161</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>162</b>

## Lista de Abreviaturas

AHP	Proceso Analítico Jerárquico ( <i>Analytic Hierarchy Process</i> )
AMFE	Análisis de Modo de Falla y Efecto
AP	Agua Potable
AS	Aguas Servidas
ES	Emisario Submarino
LA	Laguna Aireada
LAC	Lodos Activados
POE	Procedimiento Operativo Estándar
PPAP	Planta de Producción de Agua Potable
PTAS	Planta de Tratamiento de Agua Servida
RCM	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad ( <i>Reliability-Centered Maintenance</i> )
SISS	Superintendencia de Servicios Sanitarios
TPM	Mantenimiento Productivo Total ( <i>Total Productive Maintenance</i> )
NCh	Norma Chilena

## Lista de Figuras

<i>Figura 2.1 - Mapa Zonales ESVAL. Elaboración Propia.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2.2 - Proceso General de ESVAL, LAC (ESVAL, Memoria Anual 2011, 2016).....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2.3 - PPAP Concón, Valparaíso (ESVAL, Memoria Anual 2011, 2016).....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2.4 - PTAS Loma Larga, Valparaíso (ESVAL, Memoria Anual 2011, 2016).....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2.5 - PTAS (LA) Nogales, Quillota (CONAMA, 2016).....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 2.6 - PTAS El Molino, Quillota (Imagen entregada por Sub Gerencia de Mantenimiento).....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 2.7 - Resumen plantas en la Quinta Región. Elaboración Propia.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 2.8 - PTAS por zonal. Elaboración Propia.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 2.9 - Plantas de Producción de AP por zonal. Elaboración Propia.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 3.1 - Relaciones entre Equipos, Consecuencias y aplicación de Multa. Elaboración Propia.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 3.2 - Diagrama de Proceso PPAP Poza Azul. Elaboración Propia.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 3.3 - Diagrama de Frecuencia de fallas PPAP Poza Azul. Elaboración Propia.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 3.4 - Diagrama de Proceso PPAP Peñuelas. Elaboración Propia.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 3.5 - Diagrama de Frecuencia de fallas PPAP Peñuelas. Elaboración Propia.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 3.6 - Diagrama de Proceso PPAP Concón. Elaboración Propia.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 3.7 - Diagrama de Frecuencia de fallas PPAP Concón. Elaboración Propia.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 3.8 - Diagrama de Proceso PTAS Higuerrillas. Elaboración Propia.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 3.9 - Diagrama de Frecuencia de Fallas PTAS Higuerrillas. Elaboración Propia.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 3.10 - Diagrama de Proceso PTAS 2 Norte. Elaboración Propia.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 3.11 - Diagrama de Frecuencia de Fallas PTAS 2 Norte. Elaboración Propia.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 3.12 - Diagrama de Proceso PTAS Loma Larga. Elaboración Propia.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 3.13 - Diagrama de Frecuencia de fallas PTAS Loma Larga. Elaboración Propia.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 3.14 - Diagrama de Proceso PTAS (LA) Puchuncaví. Elaboración Propia.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 3.15 - Diagrama de Frecuencia de fallas PTAS (LA) Puchuncaví. Elaboración Propia.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 3.16 - Diagrama de Proceso PTAS (LA) Casablanca. Elaboración Propia.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 3.17 - Diagrama de Frecuencia de fallas PTAS (LA) Casablanca. Elaboración Propia.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 3.18 - Diagrama de Proceso PTAS (LA) Placilla. Elaboración Propia.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 3.19 - Diagrama de Frecuencia de fallas PTAS (LA) Placilla. Elaboración Propia.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 6.1 Esquema etapas RCM. Elaboración Propia.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 6.2 - Cómo se registran las consecuencias de falla en la Hoja de Decisión. Moubray 2004.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 6.3 - Diagrama de Decisión RCM II. Moubray, 2004.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 7.1 - Diagrama de Proceso Dosificación de Químicos directa (a) y mezclada (b). Elaboración Propia.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 7.2 - Proceso tratamiento de olores PTAS 2 Norte. Elaboración Propia.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 7.3 - Proceso Aireación de AS PTAS (LA) Placilla. Elaboración Propia.....</i>	<i>120</i>

## Lista de Tablas

<i>Tabla 2.1 - Cantidad de Plantas por Zonal</i> .....	22
<i>Tabla 2.2 - Tipos de PTAS a por Zonal</i> .....	22
<i>Tabla 3.1 - Parámetros relativos a características organolépticas</i> .....	27
<i>Tabla 3.2 - Límites máximos para descarga de residuos líquidos a cuerpos fluviales</i> .....	29
<i>Tabla 3.3 - Límites máximos de concentración descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos fuera de la zona de protección litoral</i> .....	30
<i>Tabla 3.4 - Resultados ponderación de Criterios AP</i> .....	34
<i>Tabla 3.5 - Resultado ponderación de criterios AS</i> .....	36
<i>Tabla 3.6 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PPAP Poza Azul</i> .....	40
<i>Tabla 3.7 - Criticidad de equipos o sistemas PPAP Poza Azul</i> .....	41
<i>Tabla 3.8 - Capacidad y población atendida PPAP Poza Azul</i> .....	42
<i>Tabla 3.9 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PPAP Peñuelas</i> .....	45
<i>Tabla 3.10 - Criticidad de equipos o sistemas PPAP Peñuelas</i> .....	46
<i>Tabla 3.11 - Capacidad y población atendida PPAP Peñuelas</i> .....	47
<i>Tabla 3.12 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PPAP Concón</i> .....	50
<i>Tabla 3.13 - Criticidad de equipos o sistemas PPAP Concón</i> .....	51
<i>Tabla 3.14 - Capacidad y población atendida PPAP Concón</i> .....	52
<i>Tabla 3.15 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PTAS Higuierillas</i> .....	55
<i>Tabla 3.16 - Criticidad de equipos o sistemas PTAS Higuierillas</i> .....	56
<i>Tabla 3.17 - Capacidad y población atendida PTAS Higuierillas</i> .....	57
<i>Tabla 3.18 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PTAS 2 Norte</i> .....	60
<i>Tabla 3.19 - Criticidad de equipos o sistemas PTAS 2 Norte</i> .....	61
<i>Tabla 3.20 - Capacidad y población atendida PTAS 2 Norte</i> .....	62
<i>Tabla 3.21 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PTAS Loma Larga</i> .....	65
<i>Tabla 3.22 - Criticidad de equipos o sistemas PTAS Loma Larga</i> .....	66
<i>Tabla 3.23 - Capacidad y población atendida PTAS Loma Larga</i> .....	67
<i>Tabla 3.24 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PTAS (LA) Puchuncaví</i> .....	70
<i>Tabla 3.25 - Criticidad de equipos o sistemas PTAS (LA) Puchuncaví</i> .....	71
<i>Tabla 3.26 - Capacidad y población atendida PTAS (LA) Puchuncaví</i> .....	72
<i>Tabla 3.27 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PTAS (LA) Casablanca</i> .....	75
<i>Tabla 3.28 - Criticidad de equipos o sistemas PTAS (LA) Casablanca</i> .....	76
<i>Tabla 3.29 - Capacidad y población atendida PTAS (LA) Casablanca</i> .....	77
<i>Tabla 3.30 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PTAS (LA) Placilla</i> .....	80
<i>Tabla 3.31 - Criticidad de equipos o sistemas PTAS (LA) Placilla</i> .....	81
<i>Tabla 3.32 - Capacidad y población atendida PTAS (LA) Placilla</i> .....	82
<i>Tabla 6.1 - Hoja de Información RCM II</i> .....	99
<i>Tabla 6.2 - Hoja de Decisión RCM II</i> .....	100
<i>Tabla 6.3 - Procedimiento Operativo Estándar</i> .....	103
<i>Tabla 6.4 - Plan de Mantenimiento</i> .....	104
<i>Tabla 6.5 - Frecuencia de Tareas Consolidadas</i> .....	104

<i>Tabla 7.1 - Datos de adquisición y reparación equipos sistema de dosificación de químicos PPAP Concón</i> .....	106
<i>Tabla 7.2 - Especificaciones de dosificación de químicos PPAP Concón</i> .....	106
<i>Tabla 7.3 - Modos de Falla Bomba dosificadora de químicos PPAP Concón</i> .....	107
<i>Tabla 7.4 - Hoja de Información RCM II Bomba Dosificadora PPAP Concón</i> .....	108
<i>Tabla 7.5 - Hoja de Decisión RCM II Bomba Dosificadora PPAP Concón</i> .....	109
<i>Tabla 7.6 - POE Bombas Sistema de Dosificación de Químicos PPAP Concón</i> .....	110
<i>Tabla 7.7 - Plan de Mantenimiento 3 Meses Bombas del Sistema de Dosificación de Químicos PPAP Concón</i> .....	111
<i>Tabla 7.8 - Plan de Mantenimiento 6 Meses Bombas del Sistema de Dosificación de Químicos PPAP Concón</i> .....	111
<i>Tabla 7.9 - Datos de adquisición y reparación Equipos Sist. Dosificación de Químicos PTAS 2 Norte</i> .....	113
<i>Tabla 7.10 - Modos de Falla Bomba Dosificadora y Recirculadora de Químicos PTAS 2 Norte</i> .....	114
<i>Tabla 7.11 - Hoja de Información Bomba Recirculadora Sistema de Químicos PTAS 2 Norte</i> .....	115
<i>Tabla 7.12 - Hoja de Información RCM II Bomba Dosificadora Sistema de Químicos PTAS 2 Norte</i> .....	116
<i>Tabla 7.13 - Hoja de Decisión RCM II Bomba Recirculadora y Dosificadora Sistema de Químicos PTAS 2 Norte</i> .....	117
<i>Tabla 7.14 - POE Bombas Sistema de Químicos 2 Norte</i> .....	118
<i>Tabla 7.15 - Plan de Mantenimiento 3 Meses Bombas del Sistema de Dosificación de Químicos PTAS 2 Norte</i> .....	119
<i>Tabla 7.16 - Plan de Mantenimiento 6 Meses Bombas del Sistema de Dosificación de Químicos PTAS 2 Norte</i> .....	119
<i>Tabla 7.17 - Datos de adquisición y reparación Aireadores PTAS (LA) Placilla</i> .....	120
<i>Tabla 7.18 - Modos de Falla Aireador PTAS (LA) Placilla</i> .....	121
<i>Tabla 7.19 - Hoja de Información RCM II de Aireadores PTAS (LA) Placilla</i> .....	122
<i>Tabla 7.20 - Hoja de decisión RCM II Aireadores PTAS Placilla</i> .....	123
<i>Tabla 7.21 - POE Aireadores PTAS Placilla</i> .....	124
<i>Tabla 7.22 - Plan de Mantenimiento Semanal Aireador PTAS Placilla</i> .....	125
<i>Tabla 7.23 - Tarjeta de Trabajo para reporte de defectos o fallas</i> .....	126
<i>Tabla 8.1 - Revisiones Programadas al año actuales</i> .....	127
<i>Tabla 8.2 - Revisiones Correctivas al año actuales</i> .....	128
<i>Tabla 8.3 – Revisiones al año PPAP Concón</i> .....	128
<i>Tabla 8.4 - Revisiones al año Propuestas PTAS 2 Norte</i> .....	129
<i>Tabla 8.5 – Revisiones al año Propuestas PTAS Placilla</i> .....	129
<i>Tabla 8.6 - Revisiones programadas al año propuestas</i> .....	129
<i>Tabla 8.7 - Capacitación encargados de plantas y supervisor</i> .....	130
<i>Tabla 8.8 - Comparación Situación actual y propuesta</i> .....	131

## Resumen

El siguiente proyecto de título, desarrolla una propuesta de un modelo de gestión de activos para la subgerencia de mantenimiento de la empresa sanitaria de la quinta región ESVAL en tres de sus plantas. Esta propuesta busca dar solución a los desperfectos producidos en las plantas de Agua Potable y Aguas Servidas, debido a las frecuentes fallas en los equipos, además de establecer causas potenciales de dichas fallas y sus consecuencias.

Para esto la metodología de Luis Amendola sobre gestión de activos fue adaptada y aplicada en la Planta de producción de agua potable Concon, Planta tratamiento de agua servidas 2 Norte (Emisario submarino) y Planta de tratamiento de aguas servidas Placilla (Laguna aireada).

La primera etapa comienza con el diseño de un diagrama de procesos de cada planta. La segunda etapa es aplicar un análisis de criticidad en los equipos para poder seleccionar los que presentan una mayor valoración. Con los resultados obtenidos se procede a aplicar mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en los equipos seleccionados para generar un conjunto de acciones recomendadas centradas en el modo de falla.

Se comparan los costos de la situación actual y propuesta, llegando a un aumento en el costo del mantenimiento preventivo, lo que pretende visualizar las fallas en su etapa temprana y así evitar una falla funcional de equipo para cumplir fielmente a los estándares establecidos en la NCH.

Palabras clave: Gestión de activos; Criticidad; mantenimiento centrado en confiabilidad; mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo

## Abstract

The following Project of title, development a proposal for a model of asset management from maintenance department of ESVAL in three plants. This proposal want to find solution to possible damage in drinking water and wastewater as a consequence of frequent faults in equipments, and also establish the possible causes and its consequences.

To development the proposal, the Luis Amendola methodology's about Asset Management was adapted and applied production plant of drinking water Concon, treatment wastewater plant 2 Norte (submarine outfall), treatment wastewater plant Placilla (Airy lagoon).

The first stage to each plant begins with the diagram process desing. The second stage selected the equipment more value apply an equipment criticality analysis. With obtained results we development the third stage: Reliability Centred Maintenance (RCM) to selected equipment generating a set of recommended actions wich pointing the wey they fail.

Final stage compares the current coste with proposal coste, obtain as a result an increase in the preventive management coste, viewing an early stage the possible faultsa avoiding and equipment functional fault to accomplish the chilean standars (Nch).

## 1. Introducción

ESVAL es una empresa dedicada a la producción y distribución de Agua Potable; además de la recolección, descontaminación y disposición de Agua Servida. El territorio operacional de la compañía comprende las áreas urbanas de la Región de Valparaíso.

Esta empresa realiza sus procesos en Plantas Productivas y cuenta con un total de 80, de las cuales 50 corresponden a Producción de Agua Potable y 30 a Tratamiento de Agua Servida. De las 30 plantas de tratamiento de Agua Servida, 9 corresponden a Emisario Submarino, 11 a Laguna Aireada y 10 a Lodos Activados, cuyas diferencias radican en el tipo de tratamiento que se le aplica al agua (Físico, Químico y Biológico). En estas plantas, existen equipos considerados críticos por su impacto en el proceso, ya sea con respecto a su función como a las fallas que puedan presentar y su consecuencia.

La presente Memoria de Título aborda la situación de los equipos de la Plantas de ESVAL, en lo que respecta a los procesos de inversión y renovación, su operación, mantenimiento, manejo de materiales y recursos asociados. Estas actividades son parte de la Gestión de Activos, que responde a la necesidad de conocer los equipos y su funcionamiento mientras sean parte de la empresa, ya que es considerado como guía para la gestión integral de la infraestructura industrial durante su vida útil.

Actualmente la Sub Gerencia de Mantenimiento de ESVAL desconoce la situación real de cada planta con respecto a la cantidad y tipo de equipos presente en ellas y las causas y consecuencias de las fallas que se producen, por tanto, el objetivo de esta memoria es proponer un Modelo de Gestión de Activos en el Área de Mantenimiento de ESVAL S.A., que permita aumentar el nivel de confiabilidad y mantener controlados los costos asociados de equipos en las Plantas.

## 2. Descripción de la Empresa

ESVAL S.A. es una empresa del sector terciario, dedicada a la producción y distribución de AP; además de la recolección, descontaminación y disposición de AS.

Comienza a prestar servicios a la Quinta Región el año 1989, cuando la Corporación de Fomento de la Producción y el Fisco de Chile constituyen la empresa sanitaria ESVAL. Diez años más tarde, comienza el proceso de privatización, siendo actualmente Inversiones OTPPB Chile II S.A. y CORFO los mayores accionistas, con un 94,19% y un 5% del total accionario respectivamente.

ESVAL S.A. cuenta con una cobertura del 99,4% en AP, del 93,1% de servicio de alcantarillado, sobre la población total de la Quinta Región.

### 2.1 Misión, Visión y Valores

#### *Misión*

Mejorar la calidad de vida de las personas, contribuyendo al desarrollo regional, con un equipo comprometido con la excelencia en la gestión integral del agua.

#### *Visión*

Ir más allá de las expectativas de nuestros clientes, generando valor en forma sostenible.

#### *Valores*

Compromiso, Eficiencia, Transparencia, Empatía.

## 2.2 Actividad de la Empresa

ESVAL es una sociedad dedicada a la producción y distribución de AP, y recolección, descontaminación y disposición de AS, que efectúa además prestaciones relacionadas con dichas actividades, en la forma y condiciones establecidas en la Ley que autoriza su creación y otras normas que le sean aplicables.

El territorio operacional de la compañía comprende las áreas urbanas de la Región de Valparaíso, que la anterior Empresa de Obras Sanitarias de la Región atendía al 27 de enero de 1986, más aquellas zonas de expansión contempladas dentro de los planes de desarrollo que aprueba la SISS.

### 2.2.1 Zonas de Servicio

La zona de concesión de ESVAL incluye gran parte de las áreas urbanas de la Región de Valparaíso, a excepción de sectores entregados en concesión a servicios particulares o municipales. Su área de cobertura abarca 7 provincias y 33 comunas. Adicionalmente, presta servicios de AP a otras localidades fuera del área de concesión en la comuna de Algarrobo, sobre la base de convenios suscritos con las comunidades de Algarrobo Norte, Mirasol y las Brisas.

El área de concesión de ESVAL se divide en las siguientes Subgerencias Zonales, las que no coinciden en la división de las provincias de la quinta región:

<b>(a) Litoral Sur</b>	<b>(b) Gran Valparaíso</b>	<b>(c) Quillota</b>	<b>(d) San Felipe</b>
Algarrobo, El Quisco, El Tabo, Cartagena, San Antonio, Casablanca.	Viña del Mar, Valparaíso, Concón, Villa Alemana Quilpué, Limache	El Melón, La Cruz, La Calera, Hijuelas, La Ligua, Quillota, Nogales, Petorca, Cabildo, Papudo, Zapallar, Puchuncaví, Quintero	San Felipe, San Esteban, Santa María, Llay-Llay, Putando, Catemu, Calle Larga, Los Andes, Rinconada

La figura 2.1 muestra un mapa de las zonales mencionadas anteriormente, en el cual se puede notar que ESVAL no considera las Provincias para su división.

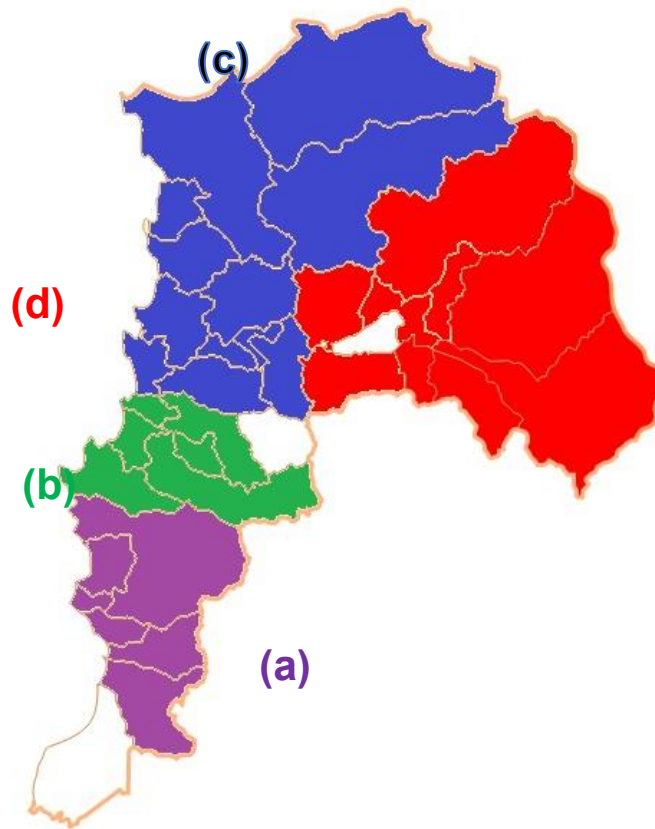


Figura 2.1 - Mapa Zonales ESVAL. Elaboración Propia

### 2.2.2 Proceso General

La Figura 2.2, muestra el proceso general que ESVAL lleva a cabo. Este comienza con la captación de agua y producción de AP (incluye los procesos de floculación, filtración, decantación y desinfección). El agua producida es almacenada en estanques y distribuida a los clientes de la empresa. Posteriormente, las AS generadas por dichos clientes, son recolectadas y tratadas en plantas destinadas a ello, las que pueden realizar el tratamiento con procesos físicos, químicos y, en algunos casos, biológicos.



Figura 2.2 - Proceso General de ESWAL, LAC (ESVAL, Memoria Anual 2011, 2016)

Como se ve en la figura 2.2, el proceso puede dividirse en tres fases:

<b>Fase I</b>	<b>Fase II</b>	<b>Fase III</b>
- Captación de Agua	- Almacenamiento	- Recolección de AS
- Retiro de material sólido	- Transporte	- Descontaminación de AS
- Floculación/Coagulación	- Distribución	✓ Lodos Activados
- Decantación		✓ Laguna Aireada
- Filtración		✓ Emisario Submarino
- Desinfección		- Disposición Final
- Fluorización		

### Fase I

#### - Captación de agua

Aguas superficiales como embalses y ríos son captadas por bocatomas y las aguas subterráneas son extraídas por sondaje, drenes, norias entre otros

#### - Retiro de material sólido

El agua obtenida de la fuente pasa a través de rejillas metálicas que obstaculizan el paso a sólidos de gran tamaño, permitiendo el paso a los más pequeños, que son eliminados en las siguientes fases del proceso

- Floculación - Coagulación  
Parte del tratamiento donde se aplican coagulantes para desestabilizar las partículas coloidales suspendidas para agrupar dichas partículas, volviéndolas más grandes y pesadas. Este proceso es más común para aguas superficiales
- Decantación  
Las partículas aglutinadas o floculadas se depositan en el fondo del estanque por gravedad, esto favorece la clarificación del agua
- Filtración  
Sistema de filtros formados por capas de antracita, arena y gravilla, cuya función es retener las partículas en suspensión que no fueron eliminadas anteriormente
- Desinfección  
Se incorpora cloro al agua filtrada para eliminar microorganismos (bacterias y hongos). En el Caso de Aguas subterráneas se aplica Cloro y Flúor. Además, se incorpora el proceso de Osmosis Inversa el cual consiste en Aplicar una alta presión al agua con mayor concentración de impurezas y sales, para que así este pase por una membrana semipermeable dejando a un lado agua pura y al otro las partículas.

## *Fase II*

- Almacenamiento, Distribución y transporte  
El agua apta para el consumo es almacenada en grandes estanques de tipo enterrado, semienterrado, o elevado, para luego, por gravedad ser distribuida por 4.572 km de cañerías subterráneas ubicadas en toda la región. Sin embargo, considerando la topografía de la zona de concesión, ESVAL debe disponer de estaciones elevadoras de agua; por otro lado, en caso de ser requerido se utilizan camiones aljibes para la distribución.

## *Fase III*

- Recolección de AS  
Las AS son recogidas mediante colectores, los cuales son ductos subterráneos que llegan a estaciones elevadoras y estas a su vez impulsan este flujo a las plantas de tratamiento de agua. Algunos de estos colectores llegan directo a las plantas de tratamiento, dependiendo de su ubicación.

- Descontaminación de AS

**Filtración:** El flujo que llega a la planta pasa por un sistema de filtros, el que consiste en rejas que extraen de la corriente los sólidos. Hay dos tipos de rejas; reja gruesa, que consisten en barras de metal separadas por 6 cm aproximadamente, y reja fina que tiene una distancia entre barras de 2 cm aproximadamente. Estas pueden ser automáticas o manuales, en el caso de las manuales, un operador las debe limpiar cada cierto tiempo.

**Tratamiento:** Existen dos tratamientos de AS dependiendo del tipo de planta. En los Emisarios, el tratamiento es físico y químico y consiste en quitar la grasa, arena y sólidos del flujo; en el caso de las LA y LAC el tratamiento es Físico, biológico y químico y el agua filtrada pasa a estanques o lagunas para que bacterias aeróbicas la limpien, posteriormente el agua pasa al proceso de sedimentación donde actúan bacterias anaeróbicas. Finalmente se aplican diversos químicos para eliminar estas bacterias y cumplir con las normas dictadas por la SISS.

- Disposición final

Una vez que las AS son tratadas y cumplen con las normativas son dispuestas en el mar (emisario) o en cauces naturales (LA y/o LAC).

## 2.3 Tipos de Plantas de ESVAL

### 2.3.1 Planta de Producción de Agua Potable

El agua es captada de fuentes superficiales (Ríos, embalses) por bocatomas, y/o fuentes subterráneas (Pozos). El agua captada es sometida a diversos procesos de tratamiento altamente estandarizados, donde se utilizan químicos según el tipo de agua. Los químicos más comunes son Gas Cloro, Sulfato de Aluminio, Flúor, Hipoclorito de Sodio, Carbón Activado, entre otros, cumpliendo la Norma de Calidad de Agua Potable NCh 409.

La Figura 2.3 corresponde a la PPAP de Concón, en la que se ve parte del proceso de producción. La letra (a) es el proceso de Filtración y la letra (b) Floculación.

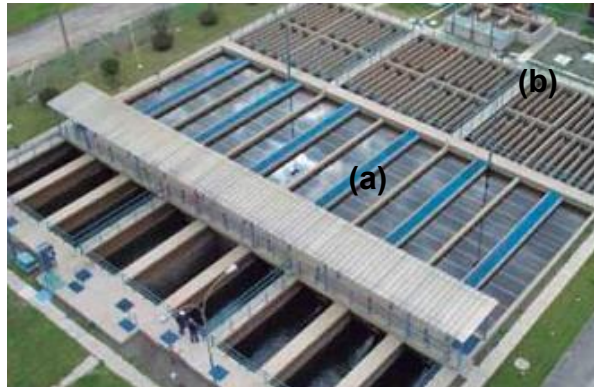


Figura 2.3 - PPAP Concón, Valparaíso (ESVAL, Memoria Anual 2011, 2016)

### 2.3.2 Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas

#### *Emisario Submarino*

Para el saneamiento del borde costero, la solución más eficiente determinada por la autoridad ha correspondido históricamente a los sistemas de ES, ya que presentan ventajas competitivas de costos frente a otro tipo de tratamiento.

Los emisarios submarinos son tuberías de descarga que, como su nombre lo indica, se instalan sobre el fondo marino, internándose en el mar a una distancia tal que impida que por dilución las descargas de las aguas pre-tratadas constituyan un problema para el borde costero.

En la Figura 2.4 se observa la PTAS Loma Larga, la que descarga al ES del mismo nombre. Esta planta es la más grande de su tipo en Sud América.



Figura 2.4 - PTAS Loma Larga, Valparaíso (ESVAL, Memoria Anual 2011, 2016)

### Laguna Aireada

La tecnología de LA corresponde al proceso de transición entre los sistemas naturales y convencionales, ya que operan con oxigenación mecánica, pero su infraestructura es simple del tipo piscinas impermeabilizadas. La aireación generalmente es entregada por equipos de aireación superficial, opera en flujo continuo, sin recirculación de lodos, por esto requieren mayor tiempo de retención que los sistemas convencionales. No utiliza sedimentación primaria, puede o no utilizar laguna de sedimentación secundaria. El efluente generalmente se somete a clarificación en lagunas de sedimentación.

La imagen de la Figura 2.5 corresponde a la PTAS de Nogales y en ella se observa el proceso aeróbico (a) y anaeróbico (b) del tratamiento. En el primer proceso se observan los aireadores de las lagunas.



Figura 2.5 - PTAS (LA) Nogales, Quillota (CONAMA, 2016)

### Lodos Activados

La tecnología de LAC es una de las más difundidas a nivel mundial. Creada en 1914 para el tratamiento de efluentes industriales y efluentes municipales. Los objetivos que persigue el tratamiento biológico del agua residual son la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica.

El principio básico del proceso consiste en que las aguas residuales se pongan en contacto con una población microbiana mixta, en forma de suspensión de flóculos en un sistema aireado y agitado.

La planta de Tratamiento de LAC del Molino es la más importante de su tipo en la región. En la Figura 2.6 se muestra el Tratamiento Secundario (a) y los Clarificadores Secundarios (b).



Figura 2.6 - PTAS El Molino, Quillota (Imagen entregada por Sub Gerencia de Mantenimiento)

### 2.3.3 Plantas por Zonal

ESVAL cuenta con un total de 80 plantas en la quinta región. En la Tabla 2.1 se muestra el detalle de la cantidad de plantas por zonal:

Tabla 2.1 - Cantidad de Plantas por Zonal

Zonal/Tipo Planta	Producción AP	Tratamiento AS	TOTAL
<b>Gran Valparaíso</b>	4	5	<b>9</b>
<b>San Felipe</b>	14	9	<b>23</b>
<b>Quillota</b>	29	11	<b>40</b>
<b>Litoral sur</b>	3	5	<b>8</b>
<b>TOTAL</b>	<b>50</b>	<b>30</b>	<b>80</b>

Fuente: Elaboración Propia

De las 80 plantas de ESVAL, 50 corresponde a Producción de AP y 30 a Tratamiento de AS, siendo un 62,5% y 37,5% respectivamente. En la Tabla 2.2 se ve en detalle los tipos de plantas de tratamiento de AS en cada zonal de ESVAL:

Tabla 2.2 - Tipos de PTAS a por Zonal

Zonal/Tipo Planta	Emisario Submarino	LA	LAC	Total
<b>Gran Valparaíso</b>	4	1	0	<b>5</b>
<b>San Felipe</b>	0	5	4	<b>9</b>
<b>Quillota</b>	1	4	6	<b>11</b>
<b>Litoral sur</b>	4	1	0	<b>5</b>
<b>TOTAL</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>30</b>

Fuente: Elaboración Propia

De las 30 plantas de tratamiento de AS, 9 corresponden a ES, 11 a LA y 10 a LAC, es decir, 30%, 36,67% y 33,33% del total de plantas de AS, respectivamente. La Figura 2.7 resume lo indicado anteriormente:

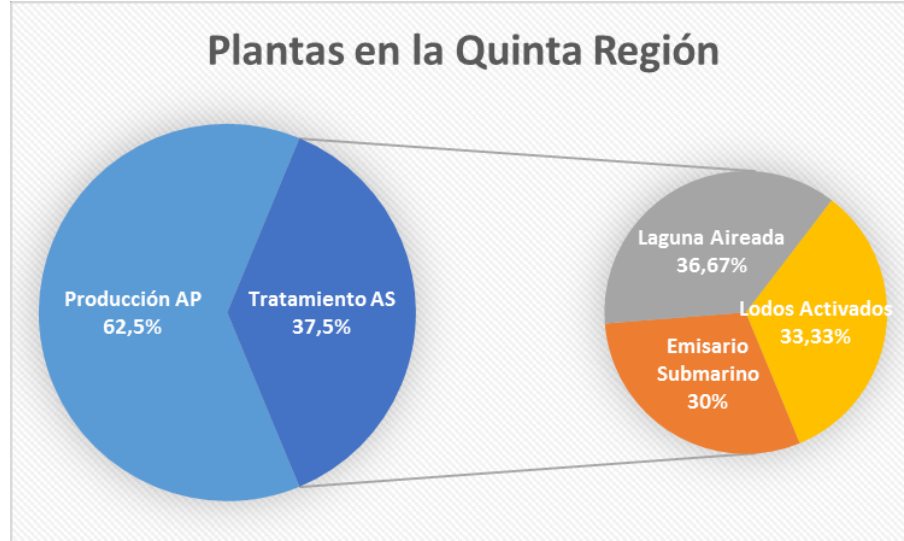


Figura 2.7 - Resumen plantas en la Quinta Región. Elaboración Propia

Con respecto a la ubicación de las plantas, Quillota concentra la mayor cantidad de plantas de tratamiento de AS con 11 plantas, lo que representa el 36,67% del total de las plantas de este tipo. Cabe señalar que la Zonal de Quillota considera localidades costeras, como se muestra en la figura 2.1. El resto de los zonales, tienen 30% para el caso de San Felipe y 16,67% para el caso de Gran Valparaíso y Litoral Sur. La Figura 2.8 muestra lo indicado:

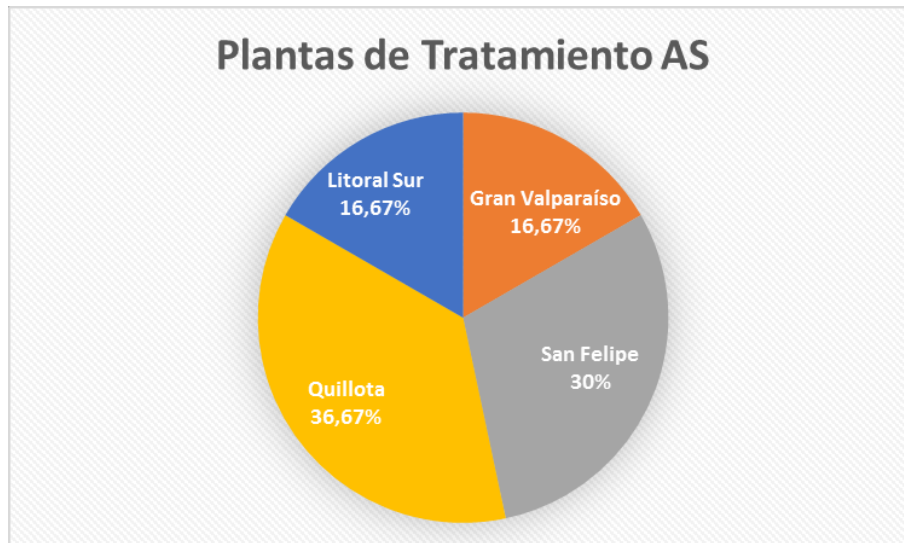


Figura 2.8 - PTAS por zonal. Elaboración Propia

Por otro lado, la producción de AP se concentra en su mayoría en el Zonal de Quillota, que cuenta con 29 plantas destinadas a ello, lo que representa el 58% del total de plantas de AP. Mientras que San Felipe, Gran Valparaíso y Litoral Sur tienen un 28%, 8% y 6%, con 14, 4 y 3 plantas respectivamente. La Figura 2.9 muestra las proporciones de las plantas de AP en cada zonal de ESVAL:

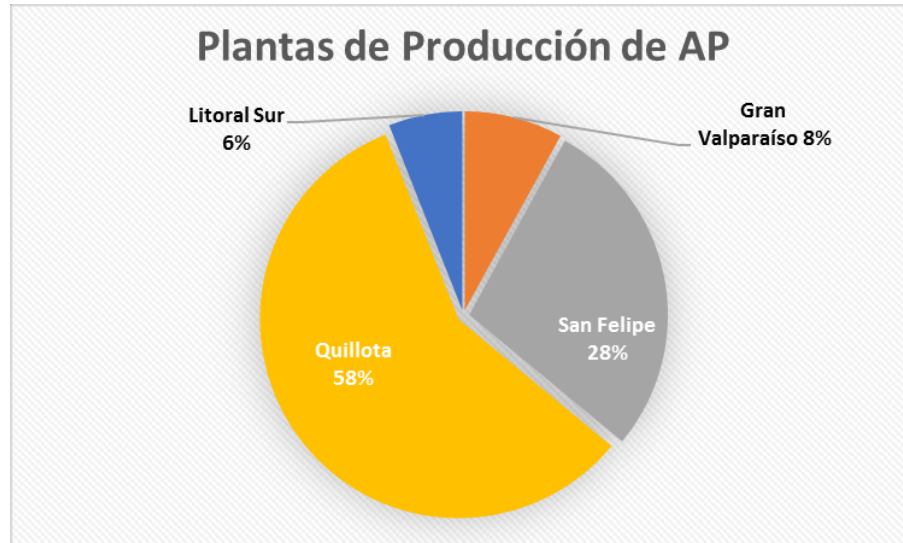


Figura 2.9 - Plantas de Producción de AP por zonal. Elaboración Propia

### 3. Metodología de Análisis para la Situación Actual y Planteamiento del Problema

Para conocer la situación actual, se visitan plantas de AP y AS, pero debido a las diferencias en el proceso y en los equipos utilizados en las Plantas de AS, se hace necesario analizarlas separadamente, ya que un ES realiza un tratamiento Físico y Químico y las LA y LAC, realizan un tratamiento Físico, Químico y, en su mayoría, Biológico. El proceso y los equipos empleados en las LA y LAC, son similares en cuanto a funcionamiento ya que ambas tienen un proceso biológico (bacterias), físico y químico.

Para visualizar los procesos e identificar los equipos que participan en él, se elabora un diagrama de procesos de las plantas visitadas. Esto permite asociar dichos equipos, con su función dentro del proceso general.

Las plantas son seleccionadas por cercanía geográfica y disponibilidad de las mismas, ya que, si presentan situaciones críticas, no es posible ingresar. De esta forma, se consideran las Provincias de Valparaíso y Marga Marga. Estas plantas son supervisadas por la Sub Gerencia de Mantenimiento de la empresa, por lo que las actividades se realizan en conjunto a los miembros de dicha área.

#### 3.1 Metodología de Análisis

Las plantas seleccionadas, se analizan bajo los siguientes criterios:

- Frecuencia de Fallas
- Efecto de Fallas
- Capacidad Planta

En primer lugar, la Frecuencia de Fallas, se refiere a la cantidad de fallas por equipo. Para conocer la frecuencia de las fallas, se analizan los avisos<sup>1</sup> registrados en el software SAP desde el año 2013 hasta la fecha, depurando aquellos avisos relacionados con Mantenimientos Preventivos, Proyectos de Mejora y Avisos de Operaciones, ya que no representan un desperfecto en el funcionamiento del Proceso principal de la Planta. Los avisos restantes, son clasificados considerando el equipo y/o el sistema afectado; estos registros son analizados con ayuda del Principio de Pareto para identificar los que producen la mayor

---

<sup>1</sup> Se denomina aviso, a aquellos reportes registrados en el sistema SAP de la empresa.

cantidad de fallas. Esta información permite tener una visualización de la situación de las plantas y sus equipos y conocer la planta con mayor cantidad problemas.

Se plantea una estructura desagregada de sistemas y equipos considerando los avisos de fallas reportados SAP, esto para saber la frecuencia de fallas. Se emplea herramientas estadísticas, como tablas de frecuencia y gráficos. Estas herramientas facilitan el análisis de los datos por su estructura ordenada, lo que permite identificar la cantidad de fallas, con el fin de visualizar qué equipos y sistemas tienen problemas de forma reiterativa. (Pierdant, 2006)

Luego se analizan los efectos de las fallas, es decir, las consecuencias de la falla de un equipo en una planta, ya sea directa o la multa que se pudiese aplicar.

Las fallas que se producen en las plantas de ESVAL, tienen dos tipos de consecuencias:

- Consecuencias directas: Se refiere a los problemas que puede generar una falla dentro del mismo funcionamiento de la planta, impidiendo total o parcialmente dicho funcionamiento.
- Consecuencias indirectas: Se refiere a las multas que pueden aplicarse a la empresa por haber incurrido en las primeras consecuencias mencionadas. Estas multas dependerán del tipo de acción que ocurra y se aplicarán según la letra a) y b) del artículo 11 de la Ley 18902:
  - a) “De una a cincuenta unidades tributarias anuales, tratándose de infracciones que importen deficiencias en la calidad, continuidad u obligatoriedad de los servicios, cobros indebidos, trato económico discriminatorio a los usuarios, deficiencias en la atención de los reclamos de los usuarios, daño a las redes u obras generales de los servicios, o incumplimiento de la obligación de entregar información requerida por la SISS en conformidad a la ley” (Ley18902).
  - b) “De cincuenta y una a mil unidades tributarias anuales, cuando se trate de infracciones que pongan en peligro o afecten gravemente la salud de la población, o que afecten a la generalidad de los usuarios de los servicios” (Ley18902).

Este análisis permite comparar la criticidad de los equipos en las plantas e identificar aquellas con los problemas más severos en cuanto a las consecuencias, ya que se utiliza de manera conjunta con la frecuencia de las fallas.

### Plantas de Agua Potable

Para el caso de AP, se distinguen 4 consecuencias directas de las fallas de los equipos:

- Parámetros Físicos: Se refiere a la presencia de color, olor y sabor en el AP. Las multas por este ítem se aplican según la letra a) del artículo 11 de la Ley 18902.
- Parámetros Inorgánico: Se refiere a la presencia de Amoniaco, Cloruro, Sulfatos, Sólidos disueltos y los niveles de Ph del AP. Las multas por este ítem se aplican según la letra b) del artículo 11 de la Ley 18902.
- Parámetros Orgánicos: Se refiere a la presencia de Fenoles en el AP. Las multas por este ítem se aplican según la letra b) del artículo 11 de la Ley 18902.
- Cortes de AP: Se refiere a cortes de agua sin aviso previo. Las multas por este ítem se aplican según la letra a) del artículo 11 de la Ley 18902.

Los límites permitidos para los parámetros físicos, Inorgánicos y Orgánicos se detallan en la tabla 3.1 que fueron extraídos de la NCh 409:

Tabla 3.1 - Parámetros relativos a características organolépticas

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo
<b>Físicos:</b>			
Color verdadero	-	Unidad Pt-Co	20
Olor	-	-	Inodora
Sabor	-	-	Insípida
<b>Inorgánicos</b>			
Amoniaco	NH <sub>3</sub>	mg/L	1,5
Cloruro	Cl <sup>-</sup>	mg/L	400 <sup>(1)</sup>
pH	-	-	6,5 < pH < 8,5
Sulfato	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/L	500 <sup>(1)</sup>
Sólidos disueltos totales	-	mg/L	1500
<b>Orgánicos</b>			
Compuestos Fenólicos	Fenol	µg/L	2
(1) La autoridad competente, de acuerdo con las instrucciones impartidas por el Ministerio de Salud, podrá autorizar valores superiores a los límites máximos señalados en esta tabla, conforme a la reglamentación sanitaria vigente.			

Fuente: NCh 409/1, 2005

### *Plantas de Agua Servida*

Para el caso de AS, se distinguen 3 consecuencias directas de las fallas de los equipos:

- Rebase de AS a cuerpos de agua fluviales o marinos (Río/Mar): Se refiere a los derrames de agua sin tratar que es vertida a ríos, esteros o el mar, sin autorización previa de la autoridad competente. Las multas (Consecuencia indirecta) por este ítem se aplican según la letra b) de la Ley 18902.
- Rebase de AS dentro de la planta: Se refiere a los derrames de agua sin tratar que es vertida dentro de la misma planta que los causa. Las multas (Consecuencia indirecta) por este ítem se aplican según la letra b) de la Ley 18902.
- Contaminantes de AS fuera de norma: Se refiere a la presencia de contaminantes por encima de los límites permitidos por la autoridad sanitaria. Las multas (Consecuencia indirecta) por este ítem se aplican según la letra b) de la Ley 18902. Estos contaminantes están indicados en el Decreto Supremo N° 90 del año 2000 y dependerán de lugar donde sea enviada el agua tratada:

Para el caso de descarga en cuerpos de aguas fluviales, los límites se muestran en la tabla 3.2 y corresponden a los indicados en el Decreto Supremo N° 90.

Para el caso de descarga en cuerpos de aguas marinos, los límites se muestran en la tabla 3.3 y corresponden a los indicados en el Decreto Supremo N° 90.

Tabla 3.2 - Límites máximos para descarga de residuos líquidos a cuerpos fluviales

CONTAMINANTES	UNIDAD	EXPRESION	LIMITE MAXIMO PERMITIDO
Aceites y Grasas	Mg/L	A y G	20
Aluminio	Mg/L	Al	5
Arsénico	Mg/L	As	0,5
Boro	Mg/L	B	0,75
Cadmio	Mg/L	Cd	0,01
Cianuro	Mg/L	CN <sup>-</sup>	0,20
Cloruros	Mg/L	Cl <sup>-</sup>	400
Cobre Total	mg/L	Cu	1
Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	Coli/100 ml	1000
Índice de Fenol	mg/L	Fenoles	0,5
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr <sup>6+</sup>	0,05
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	DBO <sub>5</sub>	35 *
Fósforo	mg/L	P	10
Fluoruro	mg/L	F <sup>-</sup>	1,5
Hidrocarburos Fijos	mg/L	HF	10
Hierro Disuelto	mg/L	Fe	5
Manganeso	mg/L	Mn	0,3
Mercurio	mg/L	Hg	0,001
Molibdeno	mg/L	Mo	1
Níquel	mg/L	Ni	0,2
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	NKT	50
Pentaclorofenol	mg/L	C <sub>6</sub> OHCl <sub>5</sub>	0,009
PH	Unidad	pH	6,0 -8,5
Plomo	mg/L	Pb	0,05
Poder Espumógeno	mm	PE	7
Selenio	mg/L	Se	0,01
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	SS	80 *
Sulfatos	mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1000
Sulfuros	mg/L	S <sup>2-</sup>	1
Temperatura	C°	T°	35
Tetracloroetano	mg/L	C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>	0,04
Tolueno	mg/L	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	0,7
Triclorometano	mg/L	CHCl <sub>3</sub>	0,2
Xileno	mg/L	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,5
Zinc	mg/L	Zn	3

Fuente: BCN, 2000

Tabla 3.3 - Límites máximos de concentración descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos fuera de la zona de protección litoral

CONTAMINANTE	UNIDAD	EXPRESIÓN	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE A PARTIR DEL 10º AÑO DE VIGENCIA DEL PRESENTE DECRETO
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	350	150
Sólidos Sedimentables	ml/1/h	S.SED	50	20
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	S.S.	700	300
Aluminio	mg/L	Al	10	
Arsénico	mg/L	As	0,5	
Cadmio	mg/L	Cd	0,5	
Cianuro	mg/L	CN <sup>-</sup>	1	
Cobre	mg/L	Cu	3	
Índice de Fenol	mg/L	Fenoles	1	
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr <sup>6+</sup>	0,5	
Cromo Total	mg/L	Cr Total	10	
Estaño	mg/L	Sn	1	
Fluoruro	mg/L	F <sup>-</sup>	6	
Hidrocarburos Totales	mg/L	HCT	20	
Hidrocarburos Volátiles	mg/L	HC	2	
Manganeso	mg/L	Mn	4	
Mercurio	mg/L	Hg	0,02	
Molibdeno	mg/L	Mo	0,5	
Níquel	mg/L	Ni	4	
PH	Unidad	pH	5,5 - 9,0	
Plomo	mg/L	Pb	1	
SAAM	mg/L	SAAM	15	
Selenio	mg/L	Se	0,03	
Sulfuro	mg/L	S <sup>2-</sup>	5	
Zinc	mg/L	Zn	5	

Fuente: BCN, 2000

### *Análisis de Equipos Críticos*

Para el análisis de equipos críticos de las plantas de ESVAL se utiliza el método AHP, procedimiento diseñado para cuantificar juicios u opiniones sobre la importancia relativa de criterios que generen conflicto, para conseguir un objetivo definido. Busca relacionar diferentes alternativas con dichos criterios. La alternativa que se elige es aquella que más criterios cumpla. El método AHP valoriza los criterios y luego valoriza las alternativas con respecto a los criterios, lo que permite obtener una ponderación para comparar dichas alternativas y saber cuál será la que cumpla el objetivo.

Para el caso de las plantas de ESVAL, cuantifica juicios u opiniones sobre la importancia relativa de las “Consecuencias Directas”, en la aplicación de multas por parte de la SISS. Se relacionan diferentes equipos con las “Consecuencias Directas” y el equipo que más afecte en dichas consecuencias será el más crítico. Se valorizan las Consecuencias y los equipos con respecto a ellas, para obtener ponderaciones que permitan una elección.

Considerando la relatividad de este método, se consulta a operarios y encargados de plantas, ya que son ellos los que tienen mayor conocimiento de estas.

Las etapas para aplicar el método AHP son las siguientes (Saaty, 1988):

1. Descomponer el problema de decisión en una jerarquía de elementos interrelacionados

Se deben identificar (a) Meta General, (b) Criterios ( $i= 1, 2, \dots, m$ ) y (c) Alternativas Posibles ( $j= 1, 2, \dots, n$ ). Como se mencionó anteriormente, en este caso serán (a) Multas, (b) Consecuencias Directas y (c) Equipos.

Para cada una de las “m” Consecuencias, se deben realizar las etapas de la 2 a la 5.

2. Desarrollar Matriz de Comparación por Pares (MCP) de los equipos para cada una de las consecuencias, estableciendo el rating de importancia relativa entre ambas alternativas consideradas. El rating se establece a partir de la siguiente escala:

- 1 = igualmente prioritario
- 3 = moderadamente prioritario
- 5 = fuertemente prioritario
- 7 = muy fuertemente prioritario
- 9 = extremadamente prioritario

Pueden asignarse los valores intermedios 2, 4, 6, 8. Un rating recíproco (ej.: 1/9, 1/7, 1/5, ...) se aplica cuando la segunda alternativa es preferida a la primera. El valor 1 es siempre asignado a la comparación de una alternativa con sí misma.

3. Desarrollar la Matriz Normalizada (MCN) dividiendo cada número de una columna de la matriz de comparación por Pares por la suma total de la columna.
4. Desarrollar el vector de prioridad para la consecuencia, calculando el promedio de cada fila de la Matriz Normalizada. Este promedio por fila representa el vector de prioridad del equipo con respecto a la consecuencia considerada.
5. La consistencia de las opiniones utilizadas en la Matriz de Comparación por Pares puede ser determinada a través del Cociente de Consistencia (CR). Un CR inferior a 0,1 es considerado aceptable. Para aquellos casos en que  $CR > 0,1$  las opiniones y juicios deberán ser reconsiderados.

Para determinar CR, se siguen los siguientes pasos:

5.1 Para cada línea de la Matriz de Comparación por Pares, determinar una suma ponderada en base a la suma del producto de cada celda por la prioridad de cada equipo correspondiente.

5.2 Para cada línea, dividir su suma ponderada por la prioridad de su equipo correspondiente.

5.3 Determinar la media ( $\lambda$  máximo) del resultado de la etapa 5.2

5.4 Calcular el Índice de Consistencia (CI) para cada alternativa

$$CI = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1}$$

5.5 Determinar el Índice de Consistencia Aleatoria (RI) de la siguiente tabla:

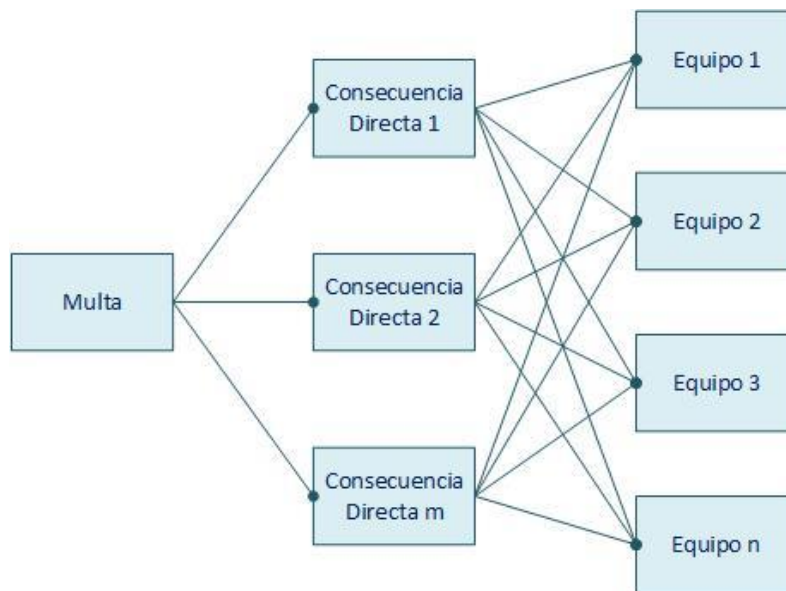
N	RI
3	0,58
4	0,9
....	....
15	1,583
16	1,595

5.6 Determinar el Cociente de Consistencia  $CR = CI/RI$

6. Luego de que la secuencia (2), (3), (4) y (5) ha sido ejecutada para todas las consecuencias, los resultados obtenidos en (4) son resumidos en una Matriz de Prioridad (MP), listando los equipos por fila y las consecuencias por columna.
7. Desarrollar una Matriz de Comparación de consecuencias por pares, de manera similar a lo que se hizo para los equipos en (2), (3) y (4).
8. Desarrollar un vector de prioridad global, multiplicando el Vector de Prioridad de Consecuencias (7) por la Matriz de Prioridad de los Equipos (6)

Se utilizan criterios relacionados a las multas que podrían causar, estos serán los parámetros supervisados por la SISS.

La Figura 3.1 muestra las relaciones que deben realizarse para analizar la influencia que tienen las fallas de los equipos en la aplicación de una multa, según el método AHP:



*Figura 3.1 - Relaciones entre Equipos, Consecuencias y aplicación de Multa. Elaboración Propia*

Considerando lo obtenido con el Método AHP y la frecuencia de las fallas se realiza el análisis de criticidad. Para esto se utiliza la base del modelo de criticidad de factores ponderados basado en el concepto del riesgo, creado por consultora inglesa Woodhouse Partnership Limited. Este es un método semicuantitativo donde se plantea que la criticidad total será el producto de la frecuencia de fallas por la consecuencia que tendría.

Como consecuencia se utilizan los criterios descritos en la metodología AHP, que corresponden a la valoración de los parámetros establecidos por de la NCH 409/1 (2005) y DS 90 (2000), supervisados por la SISS.

Los matrices de comparación por pares, matrices normalizadas, vector de prioridad por criterio y matriz de comparación de criterios se encuentran anexadas a esta memoria (*ANEXO A: Análisis AHP Agua Potable y ANEXO B: Análisis AHP Aguas Servidas*).

Los resultados obtenidos de este análisis se dividieron en AP y AS y son los siguientes:

#### a) Agua Potable

##### Vector de Prioridad Global

En la tabla 3.4 se observan los equipos analizados con sus respectivas ponderaciones, aplicando el método AHP. Los valores indican la prioridad de atención que requieren, siendo el mayor el más importante (crítico):

*Tabla 3.4 - Resultados ponderación de Criterios AP*

<b>Equipo</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Generador/ Energía</b>	0,218
<b>Dosificación Qcos</b>	0,109
<b>Floculación</b>	0,097
<b>Variador Frec.</b>	0,087
<b>Tableros</b>	0,070
<b>Sensores</b>	0,070
<b>Captación AP</b>	0,069
<b>Aireador</b>	0,062
<b>Válvula</b>	0,042
<b>Filtración</b>	0,041
<b>Bomba</b>	0,039
<b>Motores</b>	0,032
<b>Reja</b>	0,026
<b>Conducciones</b>	0,022
<b>Ventilación</b>	0,016

*Fuente: Elaboración Propia*

Los valores vistos en la tabla 3.4 son obtenidos al hacer las siguientes relaciones:

- Los criterios establecidos por la SISS que generan multas (Parámetros físicos, orgánicos e inorgánicos y cortes de suministro), para evaluar el impacto de cada uno en las multas.
- Los equipos y/o sistemas respecto a sí mismos, para evaluar su impacto frente a los criterios mencionados en el punto anterior.
- Los criterios en conjunto con los equipos y/o sistemas para establecer la ponderación final.

El equipo con mayor ponderación es el Generador; este equipo, independiente de la cantidad de fallas que presente, es crítico por las consecuencias que conlleva una falla ya que, en caso de corte de energía eléctrica, el generador es el respaldo para que la planta continúe su funcionamiento sin interrupción.

El Sistema de Dosificación de Químicos está en segundo lugar y corresponde al sistema que podría producir mayores multas en caso de fallas, basado en la NCh 409.

Los valores de la tabla 3.4, son utilizados posteriormente para obtener la ponderación de los efectos de las fallas de los equipos de cada planta de AP y fueron obtenidos al realizar la multiplicación del Vector de Prioridad de Consecuencias por la Matriz de Prioridad de Equipos. Ambos se encuentran en el Anexo A: *Análisis AHP Agua Potable*.

## b) Aguas Servidas

### Vector de Prioridad Global

En la tabla 3.5 se observan los equipos analizados, con sus respectivas ponderaciones, aplicando el método AHP:

*Tabla 3.5 - Resultado ponderación de criterios AS*

<b>Equipo</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Generador</b>	0,189
<b>Variador Frec.</b>	0,107
<b>Reja</b>	0,094
<b>Tablero</b>	0,086
<b>Sensor</b>	0,072
<b>Bombas</b>	0,066
<b>Aireador</b>	0,057
<b>Barredor de Grasa</b>	0,055
<b>Válvulas</b>	0,053
<b>Tornillo</b>	0,048
<b>Motores</b>	0,047
<b>Soplador</b>	0,036
<b>Dosificación de Qcos</b>	0,034
<b>Ventilación</b>	0,021
<b>Compactador</b>	0,021
<b>Montacargas/Funicular</b>	0,019

*Fuente: Elaboración Propia*

Los valores vistos en la tabla 3.5 son obtenidos hacer las siguientes relaciones:

- Los criterios establecidos por la SISS que generan multas (Calidad AS, Rebase en planta y Rebase en Mar y/o Río), para evaluar el impacto de cada uno en las multas.
- Los equipos y/o sistemas respecto a sí mismos, para evaluar su impacto frente a los criterios mencionados en el punto anterior.
- Los criterios en conjunto con los equipos y/o sistemas para establecer la ponderación final.

En el caso de las Plantas de AS, los dos equipos con mayor ponderación son el Generador y el Variador de Frecuencia. El primer equipo, al igual que en las plantas de AP, es crítico, independiente de la cantidad de veces que falle, por las consecuencias que tendría una falla en él. El Variador de Frecuencia es el equipo que provoca la partida de un equipo, según la cantidad de AP o AS que se esté procesando. En caso de fallar, se pararía el proceso en ese punto, provocando diferentes consecuencias.

Los valores de la tabla 3.5, son utilizados posteriormente para obtener la ponderación de los efectos de las fallas de los equipos de cada planta de AS y fueron obtenidos al realizar la multiplicación del Vector de Prioridad de Consecuencias por la Matriz de Prioridad de Equipos. Ambos se encuentran en el Anexo B: *Análisis AHP Aguas Servidas*.

Por último, la capacidad de la Planta se refiere a la capacidad de producción o tratamiento de la planta, medida en unidades de Volumen. Esta información permitirá dimensionar el impacto de un trabajo en dicha planta, con respecto a la capacidad de la misma y la población que atiende.

La información necesaria para realizar este análisis, fue extraída de las siguientes fuentes:

- Comunas atendidas AS: Extraída de nómina de plantas de tratamiento de AS autorizadas y operativas (SISS, Sistemas de Tratamientos de Agua Servida autorizados V Región, 2016).
- Comunas atendidas AP: Extraído del estudio de factibilidad sanitaria de la Comuna de Concón (Habiterra, 2014)
- Población: Extraída de los informes del Instituto Nacional de Estadísticas, publicada en su página web (INE, 2016).
- Capacidad Nominal: Extraída del software SAP de la empresa, complementada con otros documentos mencionados para cada planta.

## 3.2 Análisis situación actual de las Plantas

Las plantas seleccionadas para este estudio son:

PPAP	PTAS-ES	PTAS-LA
Poza Azul	2 Norte	Placilla
Peñuelas	Loma Larga	Casablanca
Concon	Higuerilla	Puchuncaví

### 3.2.1 PPAP Poza Azul

En la Figura 3.2 se muestra el diagrama de Proceso de la PPAP Poza Azul. En él se observa el proceso de la planta, que comienza con la extracción de agua del embalse Poza Azul a través de una bomba. El agua pasa por procesos de Floculación y Decantación, se le inyectan químicos y culmina en el Estanque Esteros Semi Enterrado (Fuera de la Planta), donde se inyecta Cloro y Flúor.

Las imágenes de las dependencias de la PPAP Poza Azul se encuentran anexadas a esta memoria (*Anexo C: Dependencias PPAP*).

Según la Figura 3.2, esta planta cuenta con los siguientes equipos y sistemas:

- |                         |   |
|-------------------------|---|
| (a) Bombas              | (c) Sistema de Dosificación de Químicos |
| (a1) Bomba sumergible   | (c1) Carbón Activado                    |
| (b2) Bomba manual       | (c2) Permanganato de Potasio            |
| (b) Sensor/Medidor      | (c3) Sulfato de Aluminio                |
| (b1) Medidor de Caudal  | (c4) Magnafloc                          |
| (b2) Medidor de Presión | (c5) Hipoclorito de Sodio               |
|                         | (d) Válvula entrada de Agua             |
|                         | (e) Sistema de Floculación              |
|                         | (f) Sistema de Filtración               |

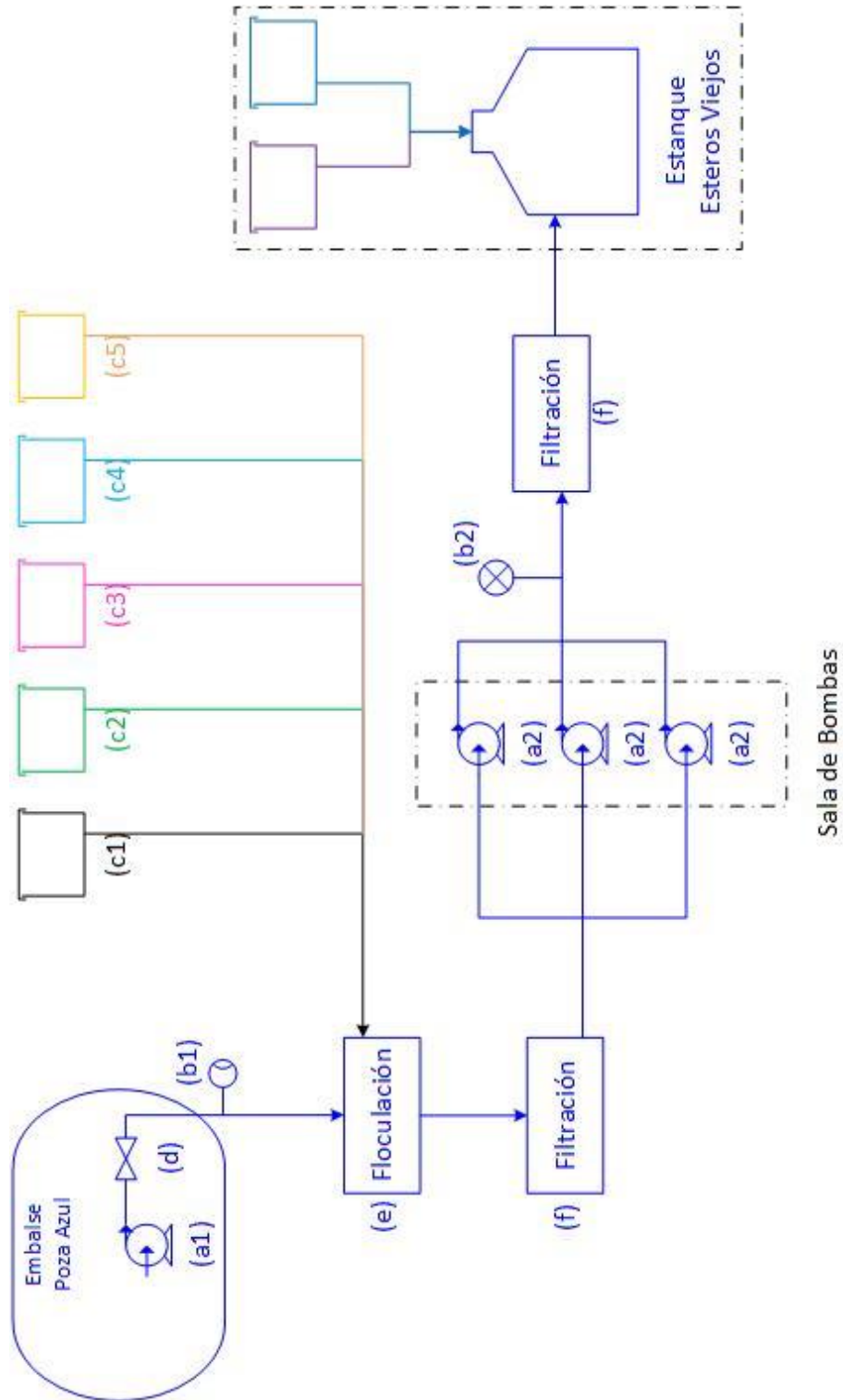


Figura 3.2 - Diagrama de Proceso PPAP Poza Azul. Elaboración Propia

## Frecuencia de Fallas

En la Tabla 3.6, se observa que los equipos y/o sistemas de dosificación de químicos y bombas representan el 90,16% de las fallas totales.

Tabla 3.6 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PPAP Poza Azul

Origen	N° Fallas	%	% Acumulado
<b>Dosificación Qcos.</b>	38	62,30%	62,30%
<b>Bomba</b>	17	27,87%	90,16%
<b>Tableros</b>	3	4,92%	95,08%
<b>Válvulas</b>	2	3,28%	98,36%
<b>Sensores</b>	1	1,64%	100,00%
<b>Total</b>	<b>64</b>	<b>100%</b>	-

Fuente: Elaboración Propia

Estos equipos pueden ser considerados críticos ya que, además de lo observado en el Diagrama, muchas de las detenciones de la planta son debidas a fallas en las bombas. Sin embargo, si esta planta se detiene, es respaldada por la PPAP Las Vegas, por lo que la reparación podría posponerse, dando prioridad a otras plantas. La Figura 3.3 muestra la frecuencia de las fallas de los equipos de esta planta.

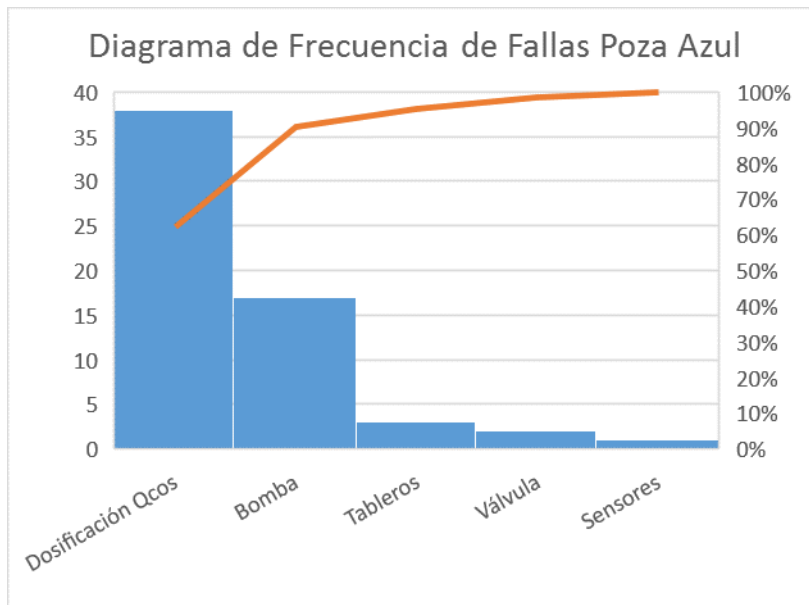


Figura 3.3 - Diagrama de Frecuencia de fallas PPAP Poza Azul. Elaboración Propia

## Efecto de Fallas

Tabla 3.7 - Criticidad de equipos o sistemas PPAP Poza Azul

<b>Equipo</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Dosificación Qcos.</b>	4,126
<b>Bomba</b>	0,660
<b>Tableros</b>	0,211
<b>Válvula</b>	0,085
<b>Sensores</b>	0,070
<b>Generador/Energía</b>	0,000
<b>Filtración</b>	0,000
<b>Captación AP</b>	0,000
<b>Floculación</b>	0,000
<b>Conducciones</b>	0,000
<b>Aireador</b>	0,000
<b>Reja</b>	0,000
<b>Motores</b>	0,000
<b>Variador de Frec.</b>	0,000
<b>Ventilación</b>	0,000

*Fuente: Elaboración Propia*

Los valores presentados en la tabla 3.7 son obtenidos a partir de la multiplicación del Vector de Prioridad Global de Agua Potable (Tabla 3.4 - Resultados ponderación de Criterios AP) por la frecuencia de fallas de cada equipo (Tabla 3.6 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PPAP Poza Azul).

Los equipos y/o sistemas con puntaje más alto son los que tienen un mayor impacto en los criterios establecidos. Como se ve en la tabla 3.7, la dosificación de químicos es el sistema con mayor valoración por ende es posible considerarlo como crítico, ya que tiene mayor repercusión en los criterios, es decir que podrían ocasionar multas de mayor consideración.

## Capacidad Planta

*Tabla 3.8 - Capacidad y población atendida PPAP Poza Azul*

<b>Comunas atendidas</b>	Quilpué
<b>Población atendida</b>	159.705 habitantes
<b>Capacidad nominal</b>	80 l/s

*Fuente: Elaboración Propia*

Esta planta entrega servicios a Quilpué y es respaldada por la Planta de Las Vegas, ubicada en Llay Llay. Como indica la tabla 3.8 Poza Azul atiende a 159.705 habitantes y entrega un caudal de 80 l/s de AP (ESVAL, Memoria Anual 2011, 2016).

### 3.2.2 PPAP Peñuelas

La PPAP Peñuelas, entrega servicio a la zona alta de Valparaíso, además de Placilla de Peñuelas y Curauma.

Esta planta comienza el proceso en el Lago Peñuelas, donde se extrae agua por medio de dos bombas con partidador suave. El agua es sometida a procesos de Floculación, Decantación y Filtración. En ellos se aplican químicos para hacerla potable y se envía a los estanques El Vígía I y II.

Las imágenes de las dependencias de la PPAP Peñuelas se encuentran anexadas a esta memoria (Anexo C: *Dependencias PPAP*).

Según la Figura 3.4, esta planta cuenta con los siguientes equipos y sistemas:

- |                                 |                             |
|---------------------------------|-----------------------------|
| (a) Bombas                      | (i4) Sulfato de aluminio    |
| (a1) Partidor suave             | (i5) Carbón activado        |
| (a2) Manual                     | (i6) Cloro                  |
| (a3) Estrella – Triangulo       | (i7) Hipoclorito de sodio   |
| (b) Válvula entrada de Agua     | (i8) Soda caustica          |
| (c) Cámara aireación            | (i9) Estanque dosificación  |
| (d) Cámara de reja              | (j) Estanque agua           |
| (e) Floculación                 | (k) Acueducto               |
| (f) Decantación                 | (l) Soplador                |
| (g) Filtro rápido               | (m) Medidor caudal          |
| (h) Filtro lento                | (n) Cámara de succión       |
| (i) Estanque mezcla de químicos | (o) Estanque Hidroneumático |
| (i1) Permanganato de potasio    | (p) Compresor               |
| (i2) Mangafloc                  | (q) Acumulador de Aire      |
| (i3) Tramfloc                   | (r) Medidor de Presión      |

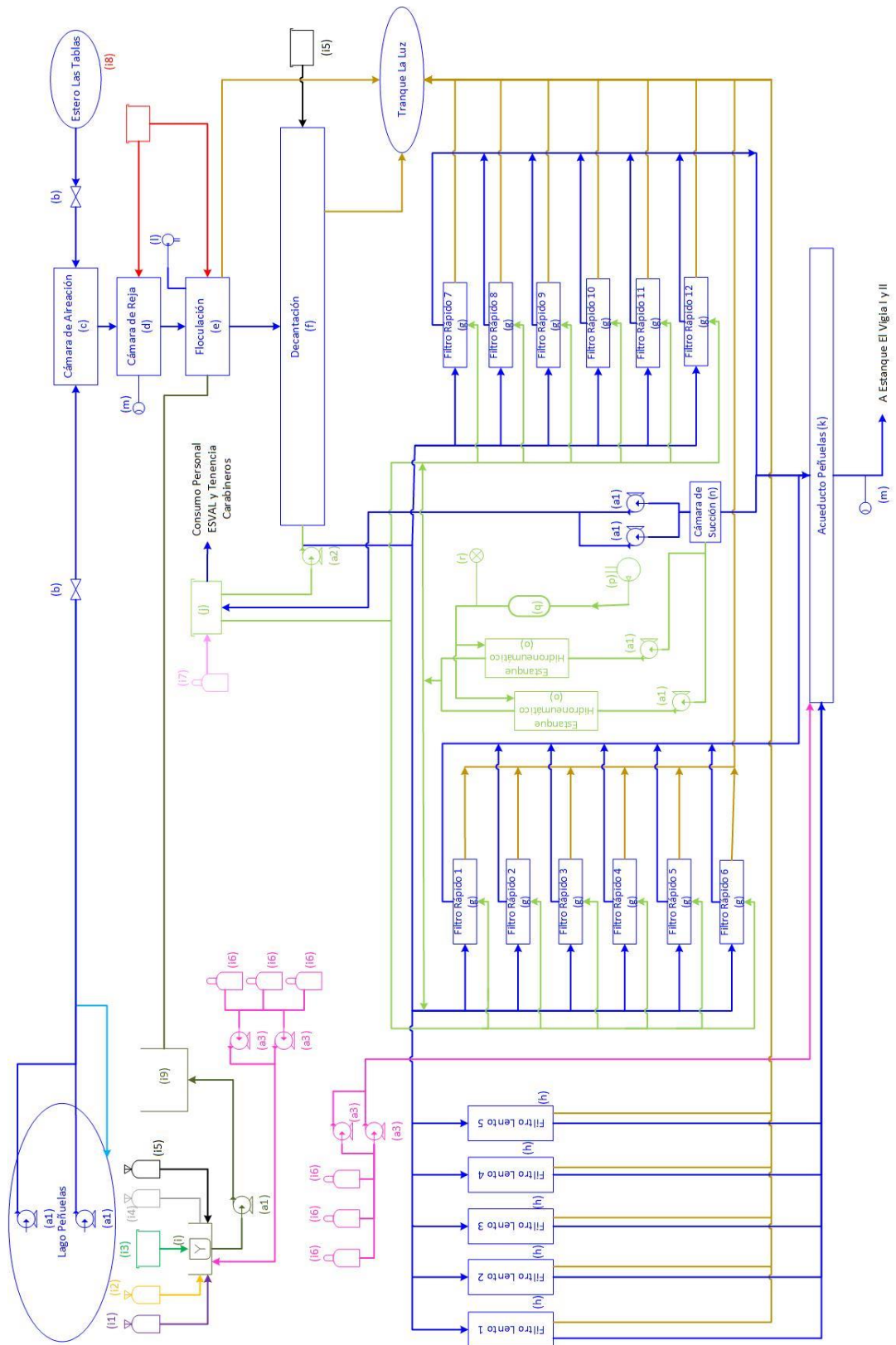


Figura 3.4 - Diagrama de Proceso PPAP Peñuelas. Elaboración Propia

## Frecuencia de Fallas

Como puede observarse en la Tabla 3.9, en esta planta el sistema que presenta más fallas, es el sistema de dosificación de químicos, que representa el 46,86% de las fallas totales. Le sigue Válvulas, Bomba y Generador, concentrando en estos cuatro ítems el 88,10%.

Tabla 3.9 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PPAP Peñuelas

Origen	N° de fallas	%	% Acumulado
<b>Dosificación Qcos.</b>	59	46,83%	46,83%
<b>Válvula</b>	24	19,05%	65,87%
<b>Bomba</b>	17	13,49%	79,37%
<b>Generador</b>	11	8,73%	88,10%
<b>Tablero</b>	8	6,35%	94,44%
<b>Aireador</b>	3	2,38%	96,83%
<b>Reja</b>	1	0,79%	97,62%
<b>Motores</b>	1	0,79%	98,41%
<b>Ventilación</b>	1	0,79%	99,21%
<b>Variador Frec.</b>	1	0,79%	100,00%
<b>Total</b>	<b>133</b>	<b>100%</b>	-

Fuente: Elaboración Propia

La Figura 3.5 entrega una visualización clara de lo indicado anteriormente, ya que se observa que la Dosificación de Químicos está muy por sobre los demás equipos y sistemas, los que van decreciendo en la cantidad de fallas que presentan.

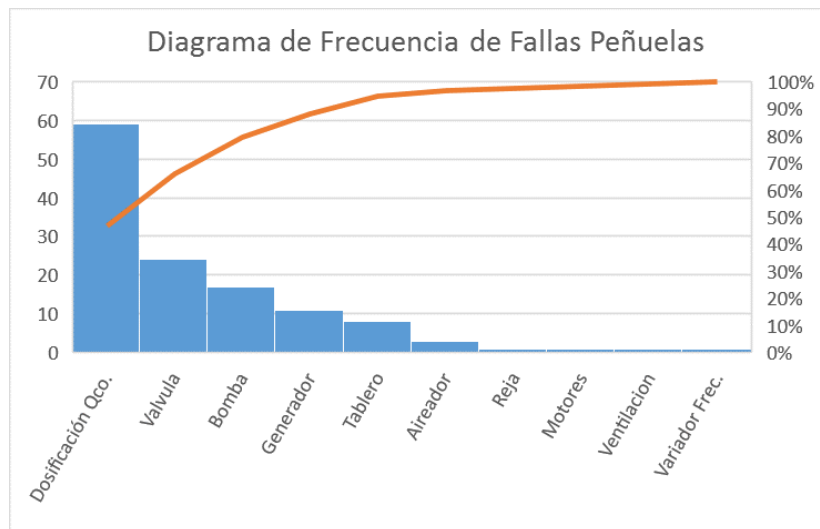


Figura 3.5 - Diagrama de Frecuencia de fallas PPAP Peñuelas. Elaboración Propia

## Efecto de Fallas

Tabla 3.10 - Criticidad de equipos o sistemas PPAP Peñuelas

<b>Equipo</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Dosificación Qcos</b>	6,407
<b>Generador/Energía</b>	2,402
<b>Válvula</b>	1,016
<b>Bomba</b>	0,660
<b>Tableros</b>	0,562
<b>Aireador</b>	0,185
<b>Variador de Frec.</b>	0,087
<b>Motores</b>	0,032
<b>Reja</b>	0,026
<b>Ventilación</b>	0,016
<b>Captación AP</b>	0,000
<b>Filtración</b>	0,000
<b>Floculación</b>	0,000
<b>Sensores</b>	0,000
<b>Conducciones</b>	0,000

*Fuente: Elaboración Propia*

Los valores presentados en la tabla 3.10 son obtenidos a partir de la multiplicación del Vector de Prioridad Global de Agua Potable (Tabla 3.4 - Resultados ponderación de Criterios AP) por la frecuencia de fallas de cada equipo (Tabla 3.9 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PPAP Peñuelas).

Los equipos y/o sistemas con puntaje más alto son los que tienen un mayor impacto en los criterios establecidos. Como se ve en la tabla 3.10, la dosificación de químicos seguido por generador y energía son los sistemas con mayor valoración por ende es posible considerarlo como crítico, ya que tiene mayor repercusión en los criterios, es decir que podrían ocasionar multas de mayor consideración.

## Capacidad

*Tabla 3.11 - Capacidad y población atendida PPAP Peñuelas*

<b>Comunas atendidas</b>	Placilla de Peñuelas Curauma
<b>Población Atendida</b>	70.000 habitantes aproximadamente
<b>Capacidad Nominal</b>	80 l/s

*Fuente: Elaboración Propia*

En la tabla 3.11 se puede observar que Peñuelas entrega servicios a Placilla de Peñuelas y Curauma, que en conjunto tienen una población aproximada de 70.000 habitantes (Rojas, 2014) y entrega un caudal de 80 l/s (Registro de software SAP)

### 3.2.3 PPAP Concón

La PPAP de Concón entrega servicios al Litoral Norte (Provincias de Puchuncaví, Quintero y Zapallar) y Concón.

El proceso comienza con la extracción de agua del Río Aconcagua por medio de bombas y/o por sondajes y pasa a los procesos de Floculación, Decantación y Filtración. Dependiendo del origen del agua se aplican ciertos químicos para hacerla potable y se envía a Estanques.

Las imágenes de las dependencias de la PPAP Concón se encuentran anexadas a esta memoria (Anexo C: *Dependencias PPAP*).

La figura 3.6 ha sido entregada por la Sub Gerencia de Mantenimiento de ESVAL y corresponde al Diagrama que actualmente se encuentra disponible de la Planta de Concón.

- |                                       |                                   |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| (a) Bombas                            | (h7) Contenedor de mezcla         |
| (a1) Partidor suave                   | (h8) Mezclador químicos           |
| (a2) Manual                           | (h9) Depósito Sulfato de Aluminio |
| (a3) Interruptor de Potencia          | (h10) Depósito Magnafloc          |
| (b) Reja Gruesa                       | (h11) Punto inyección Químicos    |
| (c) Puente grúa                       | (i) Estanque lavado Filtro        |
| (d) Válvulas                          | (j) Estanque Enterrado            |
| (e) Agitadores                        | (k) Cámara repartidora            |
| (f) Decantador                        | (l) Desarenador                   |
| (g) Filtros Rápidos                   | (m) Floculadores                  |
| (h) Sistema Dosificación de químicos  | (n) Estanque Semienterrado Concon |
| (h1) Depósito Fluor                   | (o) Estanque Eduardo Aguirre      |
| (h2) Depósito Cloro                   | (p) Medidor de caudal             |
| (h3) Tornillo Carbón activado         | (q)                               |
| (h4) Depósito Carbón activado         |                                   |
| (h5) Depósito Permanganato de Potasio |                                   |
| (h6) Depósito Cloruro Férrico         |                                   |

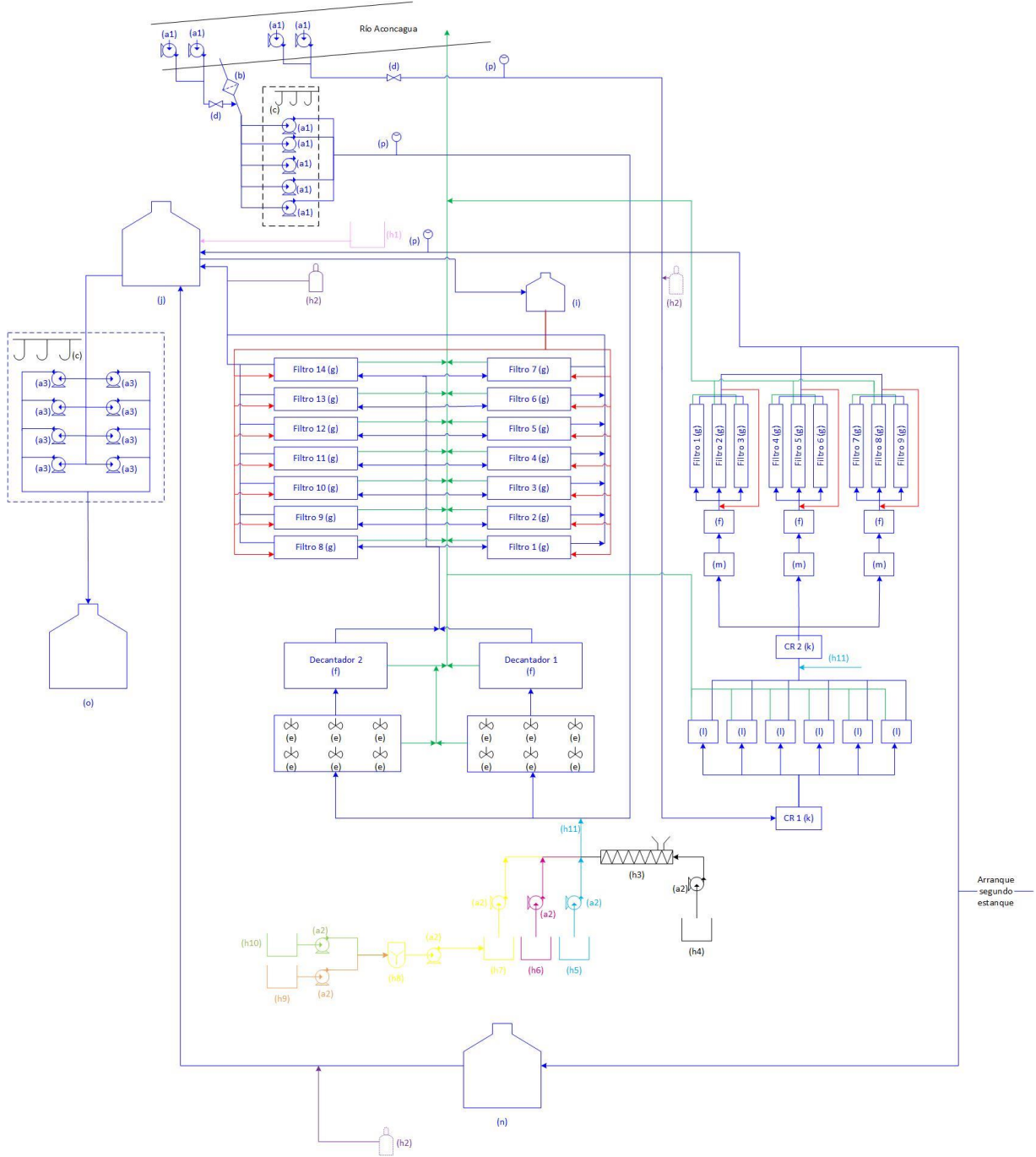


Figura 3.6 - Diagrama de Proceso PPAP Concón. Elaboración Propia

## Frecuencia de Fallas

Esta planta presenta la mayor cantidad de fallas en la dosificación de químicos. En la tabla 3.12 se muestra que este sistema tiene el 44,59% de las fallas totales. Lo siguen las bombas, con 20,53%, Tablero con 7,51% y Válvulas con 7,06% de las fallas totales de la planta. Estos 4 ítems concentran el 79,69% de las fallas.

Tabla 3.12 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PPAP Concón

Origen	Frecuencia	%	% Acumulado
<b>Dosificación Qco.</b>	202	44,59%	44,59%
<b>Bombas</b>	93	20,53%	65,12%
<b>Tablero</b>	34	7,51%	72,63%
<b>Válvulas</b>	32	7,06%	79,69%
<b>Generador/Energía</b>	27	5,96%	85,65%
<b>Filtración</b>	24	5,30%	90,95%
<b>Captación AP</b>	18	3,97%	94,92%
<b>Otros</b>	7	1,55%	96,47%
<b>Floculación</b>	6	1,32%	97,79%
<b>Conducciones</b>	6	1,32%	99,12%
<b>Sensores</b>	4	0,88%	100,00%
<b>Total</b>	<b>453</b>	-	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración Propia

La Figura 3.7 correspondiente a la planta de Concón muestra de manera más clara la gran diferencia en la cantidad de fallas del primer equipo y los demás. Este equipo podría considerarse preliminarmente como uno crítico, pero este criterio debe complementarse con los demás.

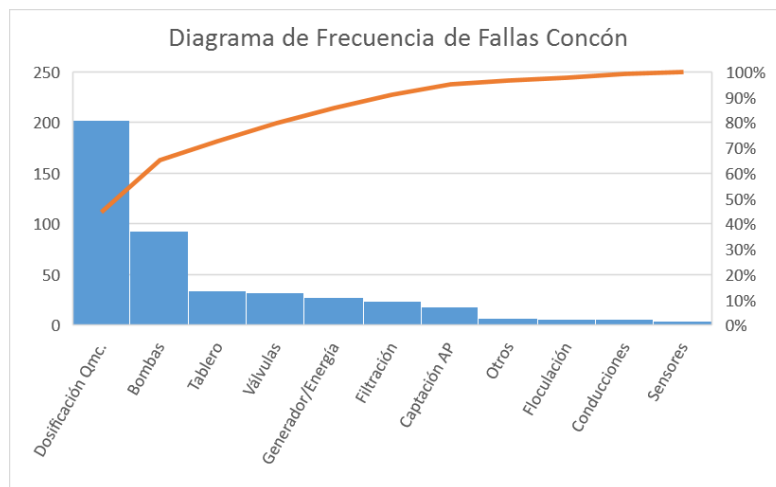


Figura 3.7 - Diagrama de Frecuencia de fallas PPAP Concón. Elaboración Propia

## Efecto de Fallas

Tabla 3.13 - Criticidad de equipos o sistemas PPAP Concón

<b>Equipo</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Dosificación Qmc</b>	26,279
<b>Generador/Energía</b>	5,895
<b>Bomba</b>	3,608
<b>Tableros</b>	2,389
<b>Válvula</b>	1,355
<b>Captación AP</b>	1,239
<b>Filtración</b>	0,988
<b>Floculación</b>	0,582
<b>Sensores</b>	0,279
<b>Conducciones</b>	0,130
<b>Aireador</b>	0,000
<b>Reja</b>	0,000
<b>Motores</b>	0,000
<b>Variador de Frec</b>	0,000
<b>Ventilación</b>	0,000

*Fuente: Elaboración Propia*

Los valores presentados en la tabla 3.13 son obtenidos a partir de la multiplicación del Vector de Prioridad Global de Agua Potable (Tabla 3.4 - Resultados ponderación de Criterios AP) por la frecuencia de fallas de cada equipo (Tabla 3.12 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PPAP Concón).

Los equipos y/o sistemas con puntaje más alto son los que tienen un mayor impacto en los criterios establecidos. Como se ve en la tabla 3.13, al igual que las plantas anteriores, la dosificación de químicos es el sistema con mayor valoración por ende es posible considerarlo como crítico, ya que tiene mayor repercusión en los criterios, es decir que podrían ocasionar multas de mayor consideración.

## Capacidad

*Tabla 3.14 - Capacidad y población atendida PPAP Concón*

<b>Comunas Atendidas</b>	Concón Zapallar Quintero	Puchuncaví Papudo Viña del Mar (30% aproximadamente)
<b>Población Atendida</b>	195.360 habitantes	
<b>Capacidad Nominal</b>	1200 l/s	

*Fuente: Elaboración Propia*

Como muestra la tabla 3.14 la planta de Concón entrega servicios a Concón, Quintero, Puchuncaví, Zapallar, Papudo y parte de Viña del Mar, como apoyo a la Planta Las Vegas (Llay Llay). Esta planta entrega un caudal de 1.200 l/s (Registro software SAP).

### 3.2.4 PTAS Higuerillas

Esta planta recibe las AS producidas por la comuna de Concón.

El proceso comienza con la llegada de las AS producidas en el sector Poniente de Concón y el agua es filtrada para sacar los sólidos de gran tamaño. Luego por gravedad son retirados los sólidos y la arena a través de un tornillo y la grasa por un soplador que empuja la grasa a una cinta donde se retira la grasa. Los residuos son retirados en contenedores, a través de un montacarga. Finalmente, el agua tratada es enviada al ES Higuerillas.

El tratamiento de olores se hace a través de partículas de carbón activado que desodorizan el aire y lo expulsan al exterior

Las imágenes de las dependencias de la PTAS Higuerillas se encuentran anexadas a esta memoria (Anexo D: *Dependencias PTAS - Emisarios*).

Según la Figura 3.8, esta planta cuenta con los siguientes equipos y sistemas:

- (a) Válvulas
  - (a1) Válvula de entrada a Planta
  - (a2) Válvula de by-pass
- (b) Reja (Filtro)
- (c) Tornillo retira arena y sólidos
- (d) Soplador de grasa
- (e) Cinta transportadora de grasa (Barredor de grasa)
- (f) Contenedor de Grasa retirada
- (g) Contenedor de Arena retirada
- (h) Contenedor de Sólidos retirados
- (i) Montacarga
- (j) Sensor de Caudal
- (k) Sistema de Ventilación + adsorción de olores

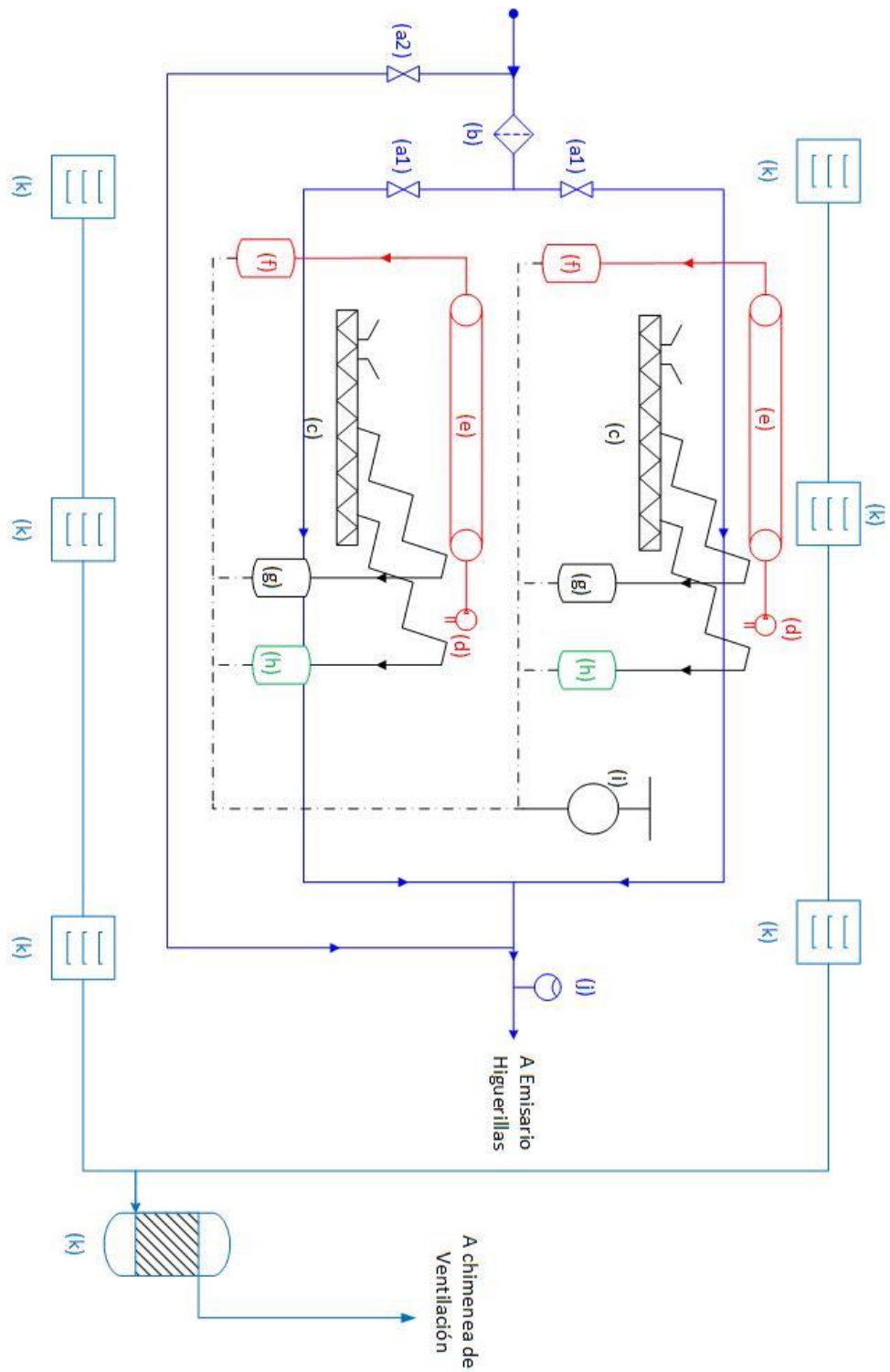


Figura 3.8 - Diagrama de Proceso PTAS Higuerrillas. Elaboración Propia

## Frecuencia de Fallas

En la Tabla 3.15 se puede ver que el equipo tornillo es el responsable de un 22,39% de las fallas, seguido por el equipo barredor de grasa que representa el 13,43%, posteriormente los porcentajes van disminuyendo gradualmente, sin marcar una gran diferencia entre los valores.

Tabla 3.15 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PTAS Higuierillas

Origen	N° de fallas	%	% Acumulado
<b>Tornillo</b>	15	22,39%	22,39%
<b>Barredor</b>	9	13,43%	35,82%
<b>Bomba</b>	8	11,94%	47,76%
<b>Montacargas</b>	7	10,45%	58,21%
<b>Motores</b>	5	7,46%	65,67%
<b>Tableros</b>	5	7,46%	73,13%
<b>Reja</b>	4	5,97%	79,10%
<b>Otros</b>	3	4,48%	83,58%
<b>Ventilación</b>	3	4,48%	88,06%
<b>Compactador</b>	2	2,99%	91,04%
<b>Generador</b>	2	2,99%	94,03%
<b>Sensor</b>	2	2,99%	97,01%
<b>Válvula</b>	2	2,99%	100,00%
<b>Total</b>	<b>67</b>	<b>100%</b>	-

Fuente: Elaboración Propia

La Figura 3.9 muestra la tendencia en la frecuencia de las fallas de los equipos de la Planta Higuierillas y permite visualizarlos equipos con mayor frecuencia, como equipos críticos en esta planta.

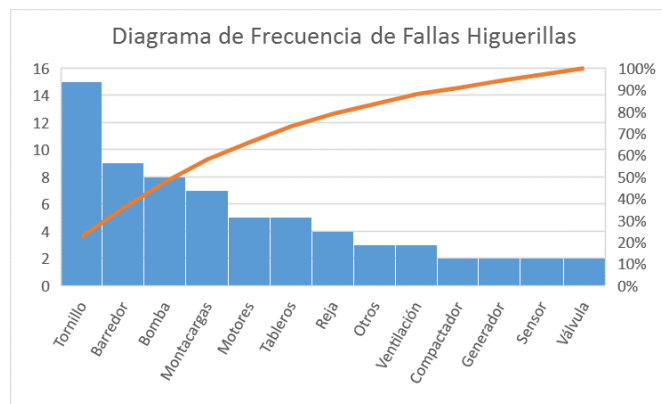


Figura 3.9 - Diagrama de Frecuencia de Fallas PTAS Higuierillas. Elaboración Propia

## Efecto de Fallas

Tabla 3.16 - Criticidad de equipos o sistemas PTAS Higerillas

<b>Equipo</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Tornillo</b>	0,716
<b>Bombas</b>	0,524
<b>Barredor de Grasa</b>	0,495
<b>Tablero</b>	0,431
<b>Generador</b>	0,377
<b>Reja</b>	0,376
<b>Motores</b>	0,235
<b>Sensor</b>	0,144
<b>Montacargas/Funicular</b>	0,133
<b>Válvulas</b>	0,106
<b>Ventilación</b>	0,063
<b>Compactador</b>	0,041
<b>Variador Frec.</b>	0,000
<b>Dosificación de Qcos</b>	0,000
<b>Aireador</b>	0,000
<b>Soplador</b>	0,000

*Fuente: Elaboración Propia*

Los valores presentados en la tabla 3.16 son obtenidos a partir de la multiplicación del Vector de Prioridad Global de Agua Potable (Tabla 3.5 - Resultados ponderación de Criterios AS) por la frecuencia de fallas de cada equipo (Tabla 3.15 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PPAP Higerillas).

Los equipos y/o sistemas con puntaje más alto son los que tienen un mayor impacto en los criterios establecidos. Como se ve en la tabla 3.16, las bombas, el tornillo y el barredor de grasa son los equipos con mayor valoración por ende es posible considerarlo como crítico, ya que tiene mayor repercusión en los criterios, es decir que podrían ocasionar multas de mayor consideración.

## Capacidad

*Tabla 3.17 - Capacidad y población atendida PTAS Higerillas*

<b>Comunas atendidas</b>	Parte de Concón (50% aproximadamente)
<b>Población atendida</b>	22.417 habitantes
<b>Capacidad Nominal</b>	204 l/s

*Fuente: Elaboración Propia*

En la tabla 3.17 se observa que Higerillas entrega servicios a la zona poniente de Concón, concentrando un 50% de las aguas producidas en la comuna aproximadamente, es decir, atiende un total de 22.417 habitantes y puede tratar un caudal de 204 l/s de AS (Habiterra, 2014).

### 3.2.5 PTAS 2 Norte

Este ES recibe las AS producidas en Reñaca, Viña del Mar, Quilpué y Villa Alemana, pero durante la época estival todo el caudal de AS es redirigido a otra planta.

El proceso comienza con la recepción de AS generadas en las localidades mencionadas, las que son filtradas a través de dos rejillas (Gruesa y Fina). Luego son enviadas a la sala de bombas, donde hay 5 bombas impulsoras; 3 de ellas están conectadas directamente con la PTAS Loma Larga y las otras 2 pueden enviar las aguas al ES 4 Poniente mientras éstas estén dentro de su capacidad, ya que al sobre pasarla, son redirigidas a Loma Larga.

Con respecto al tratamiento de olores, éste se realiza mediante la aplicación de químicos, los que se aplican en forma de lluvia al aire retirado de las salas, y es expulsado a exterior.

Las imágenes de las dependencias de la PTAS 2 Norte se encuentran anexadas a esta memoria (Anexo D: *Dependencias PTAS - Emisarios*).

Según La Figura 3.10, esta planta cuenta con los siguientes equipos y sistemas:

- |   |                                    |
|---|------------------------------------|
| (a) Reja gruesa                                   | (g) Dosificación de Químicos       |
| (b) Reja fina                                     | (g1) Estanque Ácido Sulphídrico    |
| (c) Cinta transportadora de sólidos               | (g2) Estanque Hipoclorito de Sodio |
| (d) Contenedor de sólidos                         | (g3) Estanque Soda Caustica        |
| (e) Bombas  | (g4) Scrubber                      |
| (e1) Partidor Suave                               |                                    |
| (e2) Variador de Frecuencia                       |                                    |
| (e3) Manual                                       |                                    |
| (f) Válvulas                                      |                                    |
| (f1) Válvula de envío de AS a PTAS Loma Larga     |                                    |
| (f2) Válvula de envío de AS a Emisario 4 Poniente |                                    |

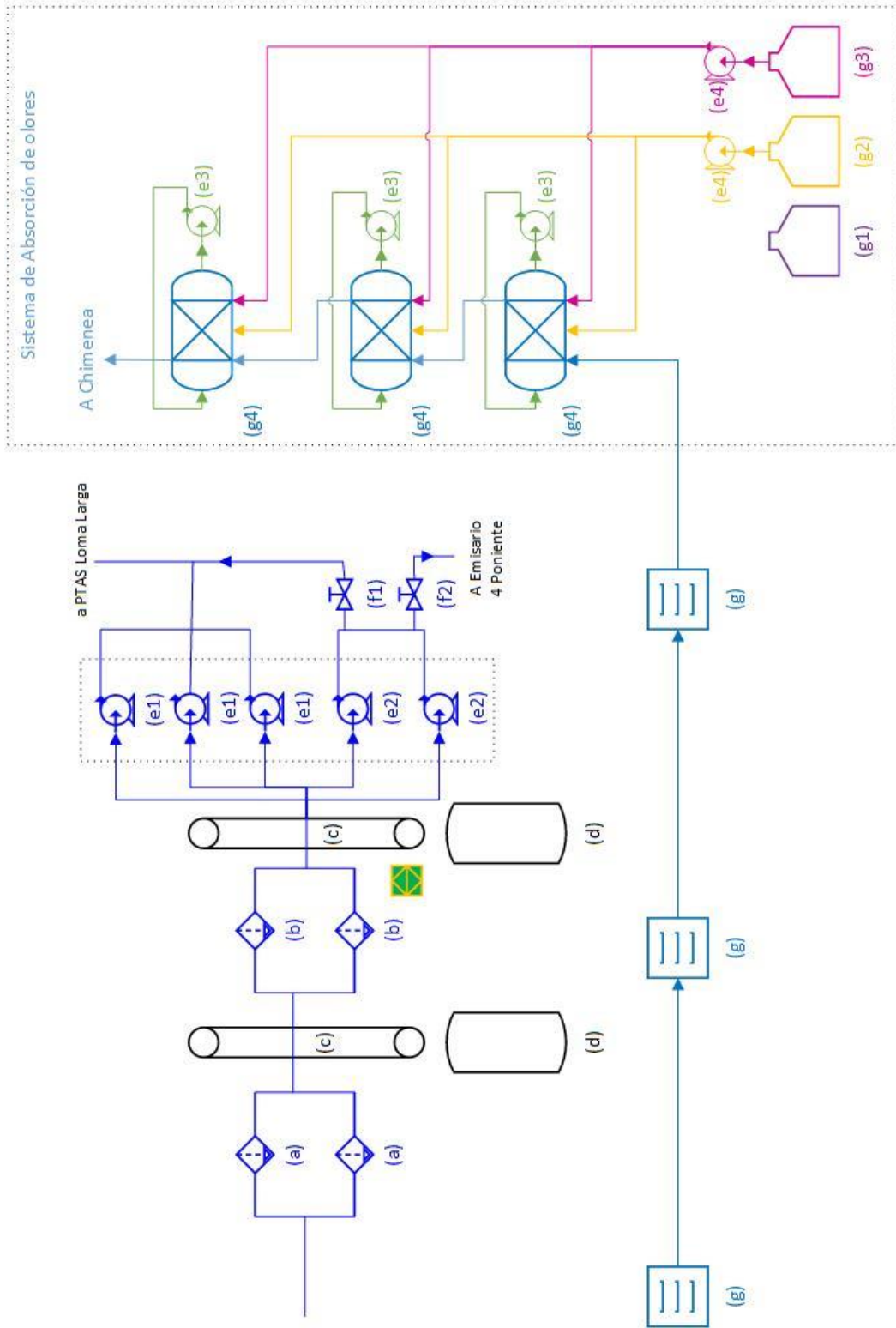


Figura 3.10 - Diagrama de Proceso PTAS 2 Norte. Elaboración Propia

Frecuencia de Fallas

Tabla 3.18 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PTAS 2 Norte

Origen	N° de fallas	%	% Acumulado
<b>Dosificación Qcs.</b>	89	41,98%	41,98%
<b>Reja</b>	35	16,51%	58,49%
<b>Bomba</b>	19	8,96%	67,45%
<b>Ventilación</b>	18	8,49%	75,94%
<b>Tablero</b>	15	7,08%	83,02%
<b>Generador</b>	9	4,25%	87,26%
<b>Válvula</b>	7	3,30%	90,57%
<b>Compactador</b>	7	3,30%	93,87%
<b>Motores</b>	5	2,36%	96,23%
<b>Otros</b>	4	1,89%	98,11%
<b>Sensor</b>	2	0,94%	99,06%
<b>Variador Frec.</b>	2	0,94%	100,00%
<b>Total</b>	<b>212</b>	<b>100%</b>	<b>-</b>

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 3.18 se muestra que la planta de 2 Norte, presenta un total de 212 fallas en el periodo registrado. De ellas, el 41,98% corresponde a fallas del sistema de dosificación de quimios, seguido de un 16,51% de fallas del equipo de reja (gruesa y fina). La Figura 3.11 muestra gráficamente las diferencias en las frecuencias de las fallas, y puede observarse que los demás equipos tienen un porcentaje mucho menor.

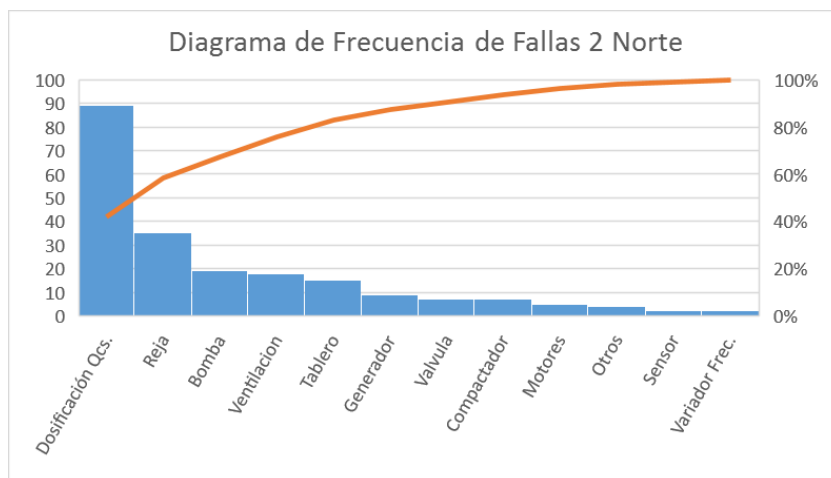


Figura 3.11 - Diagrama de Frecuencia de Fallas PTAS 2 Norte. Elaboración Propia

## Efecto de Fallas

Tabla 3.19 - Criticidad de equipos o sistemas PTAS 2 Norte

<b>Equipo</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Bombas</b>	3,473
<b>Reja</b>	3,385
<b>Generador</b>	1,698
<b>Tablero</b>	1,293
<b>Dosificación de Qcos</b>	1,120
<b>Ventilación</b>	0,757
<b>Válvulas</b>	0,372
<b>Motores</b>	0,235
<b>Variador Frec.</b>	0,213
<b>Compactador</b>	0,144
<b>Sensor</b>	0,144
<b>Tornillo</b>	0,000
<b>Montacargas/Funicular</b>	0,000
<b>Barredor de Grasa</b>	0,000
<b>Aireador</b>	0,000
<b>Soplador</b>	0,000

*Fuente: Elaboración Propia*

Los valores presentados en la tabla 3.19 son obtenidos a partir de la multiplicación del Vector de Prioridad Global de Agua Potable (Tabla 3.5 - Resultados ponderación de Criterios AS) por la frecuencia de fallas de cada equipo (Tabla 3.18 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PPAP 2 Norte).

Los equipos y/o sistemas con puntaje más alto son los que tienen un mayor impacto en los criterios establecidos. Como se ve en la tabla 3.19, las bombas y la dosificación de químicos son los equipos y sistema con mayor valoración por ende es posible considerarlo como crítico, ya que tiene mayor repercusión en los criterios, es decir que podrían ocasionar multas de mayor consideración.

## Capacidad

*Tabla 3.20 - Capacidad y población atendida PTAS 2 Norte*

<b>Comunas atendidas</b>	Viña del Mar
<b>Población atendida</b>	318.009 habitantes
<b>Capacidad Nominal</b>	2.600 l/s

*Fuente: Elaboración Propia*

En la tabla 3.20 se observa que esta planta recibe las AS de las localidades de Viña del Mar siempre que no sobrepase su capacidad de tratamiento de 2.600 l/s (Simpson & Bilbao, 2001). En tal caso, se derivan las aguas restantes a la Planta de Loma Larga. Esta planta tiene restricciones de funcionamiento durante el año (desde el segundo sábado de octubre al segundo sábado de marzo del año siguiente, se envían la totalidad de las aguas a la Planta de Loma Larga) (SISS, 2011). Considerando sólo la población de Viña del Mar, esta planta atiende a 318.099 habitantes.

### 3.2.6 PTAS Loma Larga

Esta planta recibe las AS Norte, ya que en época estival recibe el total de las aguas producidas por los lugares mencionados y el resto del año, sólo una parte.

Las imágenes de las dependencias de la PTAS Higuierillas se encuentran anexadas a esta memoria (Anexo D: *Dependencias PTAS - Emisarios*).

Según La Figura 3.12, esta planta cuenta con los siguientes equipos y sistemas:

- (a) Válvulas
  - (a1) Válvula de entrada a Filtros
  - (a2) Válvula de By-pass
- (b) Reja gruesa
- (c) Bomba
  - (c1) Partidor Suave
  - (c2) Variador de Frecuencia
- (d) Correa Transportadora
- (e) Medidor Caudal
- (f) Desarenador
- (g) Tornillo
  - (g1) Desarenador
  - (g2) Extractor de sólidos
- (h) Reja fina (giratoria)
- (i) Contenedor arena
- (j) Compactador
- (k) Contenedor Sólidos
- (l) Puente grúa
- (m) Sistema de ventilación

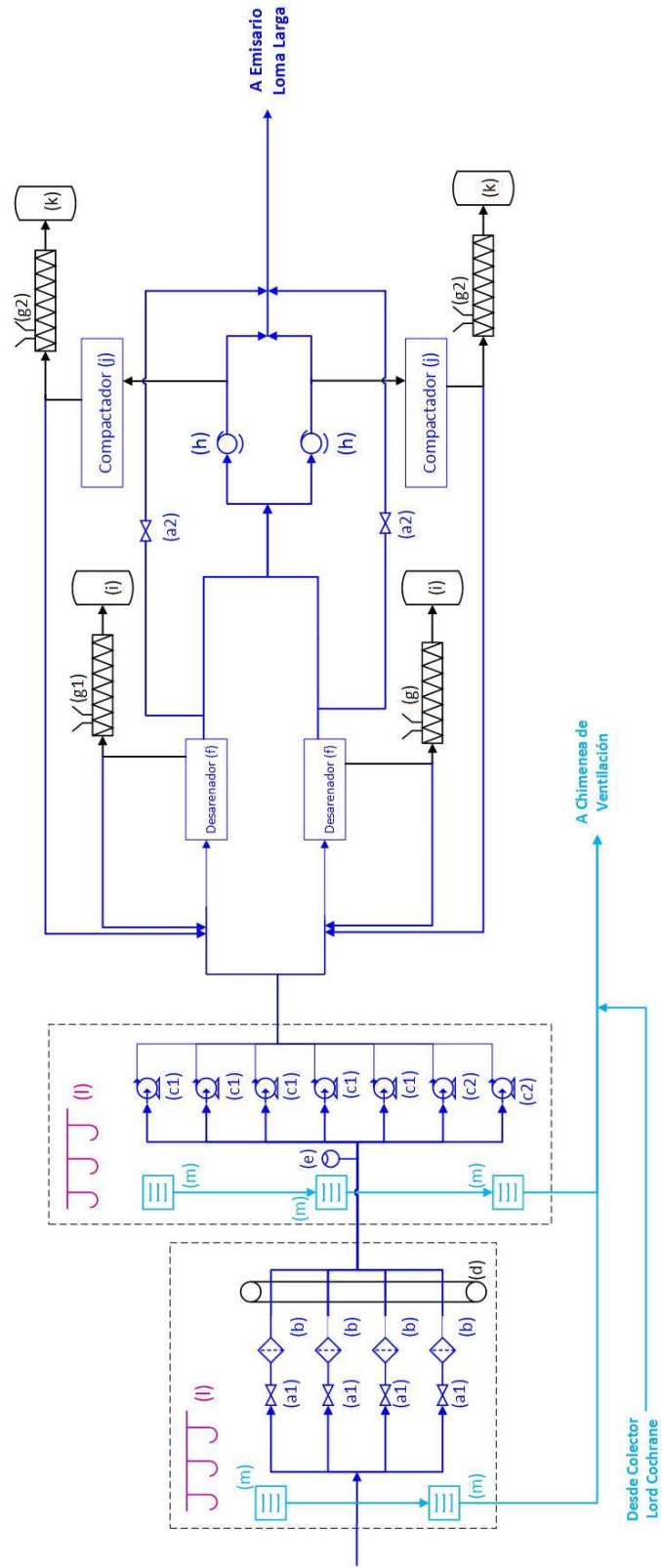


Figura 3.12 - Diagrama de Proceso PTAS Loma Larga. Elaboración Propia

## Frecuencia de Fallas

Tabla 3.21 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PTAS Loma Larga

<b>Origen</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>%</b>	<b>% Acumulado</b>
<b>Desarenador</b>	38	22,75%	22,75%
<b>Reja</b>	34	20,36%	43,11%
<b>Funicular</b>	25	14,97%	58,08%
<b>Ventilación</b>	19	11,38%	69,46%
<b>Tablero</b>	15	8,98%	78,44%
<b>Generador</b>	14	8,38%	86,83%
<b>Bombas</b>	11	6,59%	93,41%
<b>Variador Frec.</b>	4	2,40%	95,81%
<b>Otros</b>	3	1,80%	97,60%
<b>Motores</b>	2	1,20%	98,80%
<b>Filtración Emisario</b>	1	0,60%	99,40%
<b>Sensor</b>	1	0,60%	100,00%
<b>Total</b>	<b>167</b>	<b>100%</b>	<b>-</b>

Fuente: Elaboración Propia

Esta planta tiene un total de 167 fallas registradas en el periodo consultado y el equipo que presenta más fallas es el desarenador, con un 22,75% de las fallas, seguido de la Reja, con 20,36% de las fallas como se observa en la tabla 3.21. La Figura 3.13 permite visualizar las diferencias en la frecuencia de las fallas de los equipos y sistemas de esta planta.

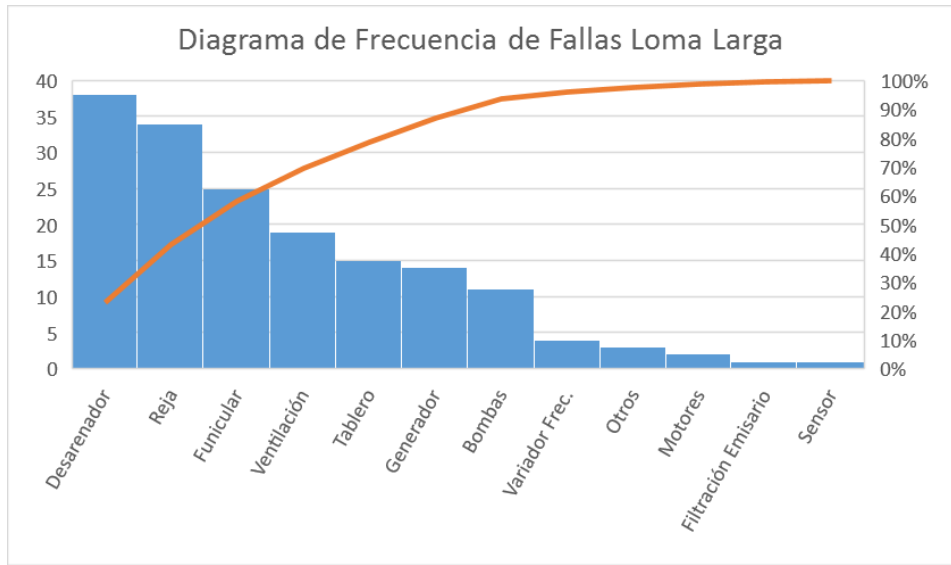


Figura 3.13 - Diagrama de Frecuencia de fallas PTAS Loma Larga. Elaboración Propia

### Efecto de Fallas

Tabla 3.22 - Criticidad de equipos o sistemas PTAS Loma Larga

Equipo	Ponderación
Reja	3,197
Generador	2,641
Desarenador	1,815
Tablero	1,293
Bombas	0,721
Montacargas/Funicular	0,477
Motores	0,426
Ventilación	0,399
Variador Frec.	0,083
Sensor	0,072
Barredor de Grasa	0,000
Compactador	0,000
Válvulas	0,000
Dosificación de Qcos	0,000
Aireador	0,000
Soplador	0,000

Fuente: Elaboración Propia

Los valores presentados en la tabla 3.22 son obtenidos a partir de la multiplicación del Vector de Prioridad Global de Agua Potable (Tabla 3.5 - Resultados ponderación de Criterios AS) por la frecuencia de fallas de cada equipo (Tabla 3.22 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PPAP Loma Larga).

Los equipos y/o sistemas con puntaje más alto son los que tienen un mayor impacto en los criterios establecidos. Como se ve en la tabla 3.22, el generador y el tornillo son los equipos con mayor valoración, seguido por el montacargas/funicular, por ende, es posible considerarlo como crítico ya que tiene mayor repercusión en los criterios, es decir que podrían ocasionar multas de mayor consideración.

### Capacidad Planta

*Tabla 3.23 - Capacidad y población atendida PTAS Loma Larga*

<b>Comunas atendidas</b>	Valparaíso Viña del Mar	Quilpué Villa Alemana
<b>Población atendida</b>	582.176 habitantes	
<b>Población</b>	6.000 l/s	

*Fuente: Elaboración Propia*

La tabla 3.23 muestra que Loma Larga recibe las AS producidas en las comunas de Valparaíso, Quilpué, Villa Alemana y parte de Viña del Mar, respondiendo a las restricciones que esta tiene en su funcionamiento. Estas comunas suman una cantidad de clientes de 582.176 habitantes. Esta planta tiene una capacidad de tratamiento de 6.000 l/s (Simpson & Bilbao, 2001).

### 3.2.7 PTAS Puchuncaví (LA)

La planta de tratamiento de Puchuncaví recibe las AS producidas en dicha comuna.

El proceso inicia con la llegada de las AS desde la EEAS, y pasa directamente a la LA, donde se agrega oxígeno con aireadores para facilitar el actuar de las bacterias. El agua continúa el proceso en la laguna de sedimentación, donde se retiran los lodos y son depositados en un espacio destinado a ello. Continúa el proceso en la sala de retiro de sólidos (Huber) y posteriormente en cámara de contacto, donde se inyectan químicos para tratar el agua y poder, finalmente, descargarla en un Estero cercano.

Las imágenes de las dependencias de la PTAS Puchuncaví se encuentran anexadas a esta memoria (Anexo E: *Dependencias PTAS - LA*).

Según la Figura 3.14, esta planta cuenta con los siguientes equipos y sistemas:

- |   |                                |
|---|--------------------------------|
| (a) Motor de aireadores                 | (f) Laguna Sedimentada         |
| (b) Aireadores con flotador             | (g) Huber                      |
| (c) Aireadores                          | (h) Contenedor de sólidos      |
| (d) Laguna Aireada                      | (i) Sistema de Ventilación     |
| (e) Sistema de dosificación de Químicos | (i1) Ventilación Sala Huber    |
| (e1) Sulfato de Aluminio                | (i2) Filtro de Carbón Activado |
| (e2) Hipoclorito de Sodio               | (j) Cámara de contacto         |
|   | (k) Bomba dosificadora         |

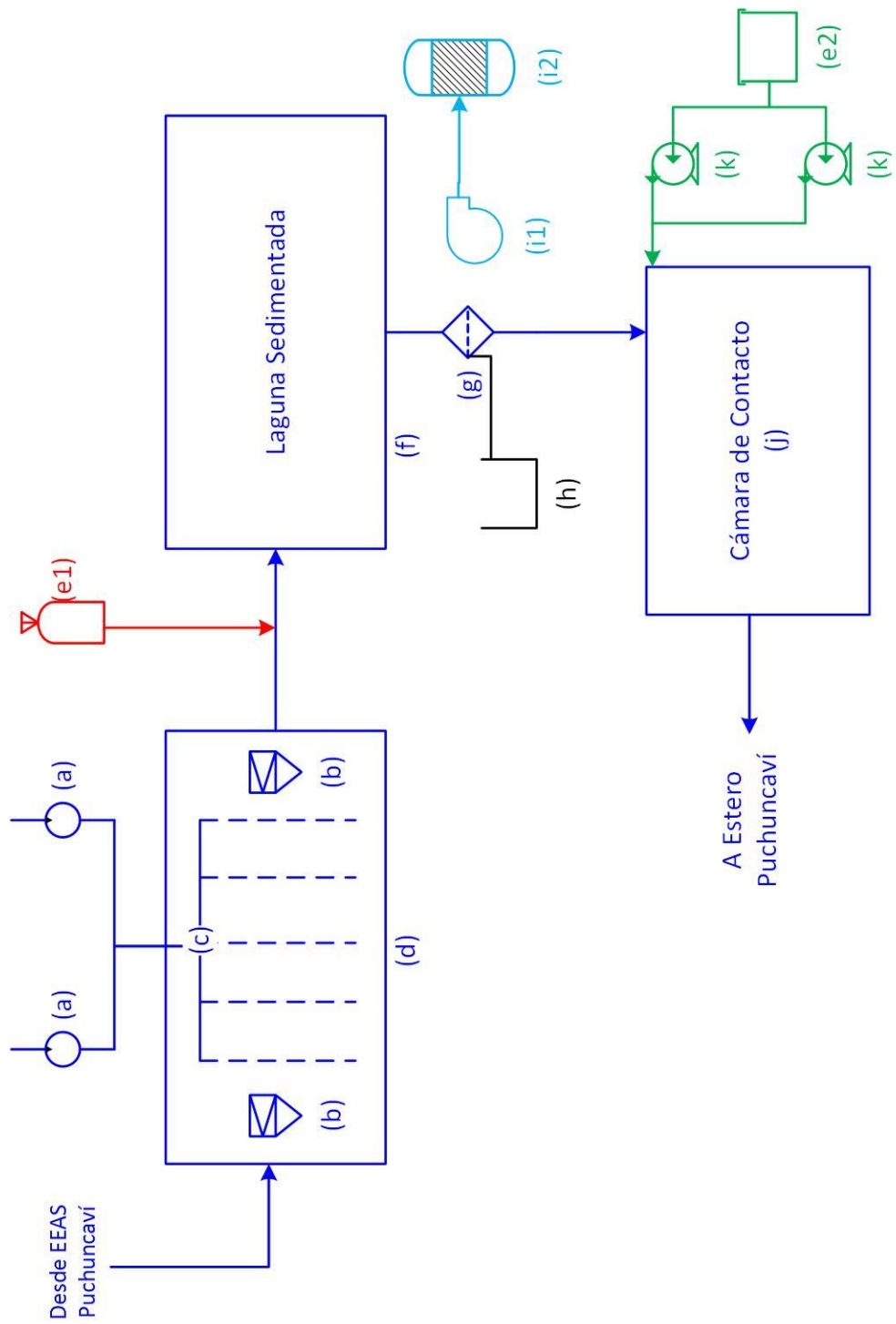


Figura 3.14 - Diagrama de Proceso PTAS (LA) Puchuncaví. Elaboración Propia

### Frecuencia de Fallas

Esta planta presenta 50 fallas registradas en SAP, durante el período analizado. De ellas, el 54% corresponde a fallas del Aireador (Equipo que oxigena las AS para facilitar el proceso biológico con las bacterias). Le sigue la dosificación de químicos con 22% y el Soplador con 12% como se observa en la tabla 3.24.

Tabla 3.24 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PTAS (LA) Puchuncaví

Origen	N° de fallas	%	% Acumulado
<b>Aireador</b>	27	54,00%	54,00%
<b>Dosificación Qcos.</b>	11	22,00%	76,00%
<b>Soplador</b>	6	12,00%	88,00%
<b>Generador</b>	2	4,00%	92,00%
<b>Tablero</b>	2	4,00%	96,00%
<b>Reja</b>	1	2,00%	98,00%
<b>Ventilación</b>	1	2,00%	100%
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>100%</b>	-

Fuente: Elaboración Propia

La Figura 3.15, hace notoria la diferencia en las frecuencias de las fallas de los equipos o sistemas, evidenciando que el aireador está muy por sobre los demás equipos.

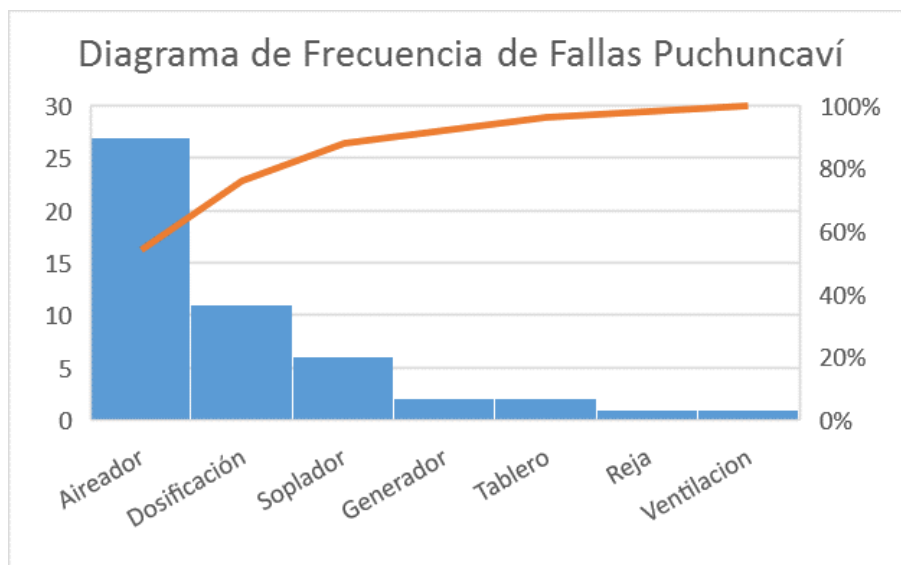


Figura 3.15 - Diagrama de Frecuencia de fallas PTAS (LA) Puchuncaví. Elaboración Propia

## Efecto de Fallas

Tabla 3.25 - Criticidad de equipos o sistemas PTAS (LA) Puchuncaví

Equipo	Ponderación
Aireador	1,551
Generador	0,377
Dosificación Qcos.	0,334
Soplador	0,216
Reja	0,188
Tablero	0,172
Ventilación	0,021
Sensores	0,000
Bombas	0,000
Válvulas	0,000
Variador de Frec.	0,000
Tornillo	0,000
Motor	0,000
Barredor de Grasa	0,000
Montacarga/Funicular	0,000
Compactador	0,000

Fuente: Elaboración Propia

Los valores presentados en la tabla 3.25 son obtenidos a partir de la multiplicación del Vector de Prioridad Global de Agua Potable (Tabla 3.5 - Resultados ponderación de Criterios AS) por la frecuencia de fallas de cada equipo (Tabla 3.24 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PPAP Puchuncaví).

Los equipos y/o sistemas con ponderación más alta son los que tienen un mayor impacto en los criterios establecidos. Como se ve en la tabla 3.25, los aireadores son los equipos con mayor valoración por ende es posible considerarlo como crítico, ya que tiene mayor repercusión en los criterios, es decir que podrían ocasionar multas de mayor consideración.

## Capacidad Planta

Tabla 3.26 - Capacidad y población atendida PTAS (LA) Puchuncaví

<b>Comunas atendidas</b>	Puchuncaví
<b>Población atendida</b>	16.688
<b>Capacidad nominal</b>	Sin Información

Fuente: Elaboración Propia

La planta de Puchuncaví recibe las AS producidas en dicha comuna, por lo que su población atendida es de 16.688 habitantes. Con respecto a su capacidad de tratamiento, momentáneamente no se tiene información, lo se puede observar en la tabla 3.26.

### 3.2.8 PTAS Casablanca (LA)

La planta de Casablanca recibe las AS producidas en la Comuna del mismo nombre.

El proceso inicia con la llegada de las AS desde el colector y pasa a través de una reja gruesa para ser impulsada posteriormente a la sala de reja fina por bombas. Luego de la reja, el AS es enviada a la LA, donde se agrega oxígeno con aireadores para facilitar el actuar de las bacterias. El agua continúa el proceso en la laguna de sedimentación, donde se retiran los lodos y son depositados en un espacio destinado a ello. La planta cuenta con un equipo para Espesar los Lodos, lo que permite retirar el exceso de agua, la que es devuelta a la LA. Continúa el proceso en la cámara de contacto y finalmente, es AS es descargada en un Estero cercano. Durante el proceso se inyectan diferentes químicos para tratar el agua (Cloro, Sulfato de Cobre, Magnafloc).

Las imágenes de las dependencias de la PTAS Casablanca se encuentran anexadas a esta memoria (Anexo E: *Dependencias PTAS - LA*).

Según la Figura 3.16, esta planta cuenta con los siguientes equipos y sistemas:

- |                                 |  |
|---------------------------------|--|
| (a) Rejas                       | (f3) Cloro                               |
| (a1) Reja Gruesa                | (f4) Bomba Dosificadora Magnafloc        |
| (a2) Reja Fina                  | (f5) Bomba Dosificadora Sulfato de Cobre |
| (b) Bombas                      | (f6) Bomba Dosificadora Cloro            |
| (b1) Variador de Frecuencia     | (g) Bomba Centrifuga                     |
| (c) Válvula entrada a la planta | (h) Espesador de Lodos                   |
| (d) Aireador                    | (i) Cámara de Contacto                   |
| (e) Laguna Aireada              | (j) Depósito de Lodos                    |
| (f) Dosificación de Químicos    | (k) Medidor de Caudal                    |
| (f1) Magnafloc                  |  |
| (f2) Sulfato de Cobre           |  |

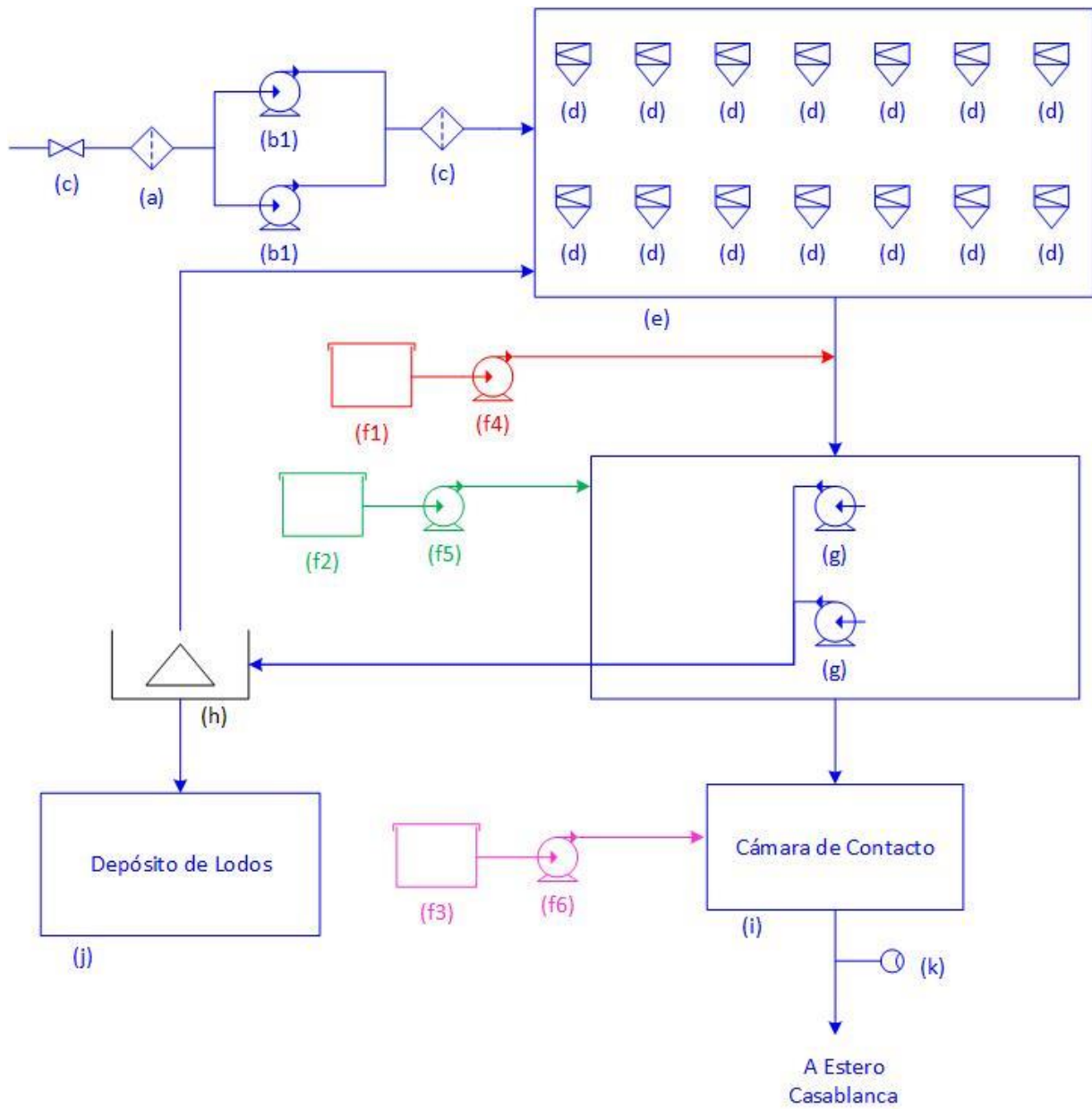


Figura 3.16 - Diagrama de Proceso PTAS (LA) Casablanca. Elaboración Propia

## Frecuencia de Fallas

La tabla 3.27 muestra que esta planta tiene un total de 95 fallas registradas durante el periodo analizado. El equipo que presenta mayor cantidad de fallas, es el Aireador con un 30,53% de las fallas totales, seguido por la Reja, que presenta un 28,42% de las fallas.

Tabla 3.27 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PTAS (LA) Casablanca

Origen	N° de fallas	%	% Acumulado
<b>Aireador</b>	29	30,53%	30,53%
<b>Reja</b>	27	28,42%	58,95%
<b>Dosificación</b>	14	14,74%	73,68%
<b>Generador</b>	9	9,47%	83,16%
<b>Válvula</b>	3	3,16%	86,32%
<b>Bomba</b>	3	3,16%	89,47%
<b>Otros</b>	3	3,16%	92,63%
<b>Sensor</b>	3	3,16%	95,79%
<b>Tablero</b>	2	2,11%	97,89%
<b>Ventilación</b>	1	1,05%	98,95%
<b>Variador Frec.</b>	1	1,05%	100,00%
<b>Total</b>	<b>95</b>	<b>100%</b>	-

Fuente: Elaboración Propia

La Figura 3.17, permite visualizar fácilmente que el Aireador y la Reja están por encima de los demás equipos en cuanto a la cantidad de fallas, con casi el doble que el siguiente equipo.

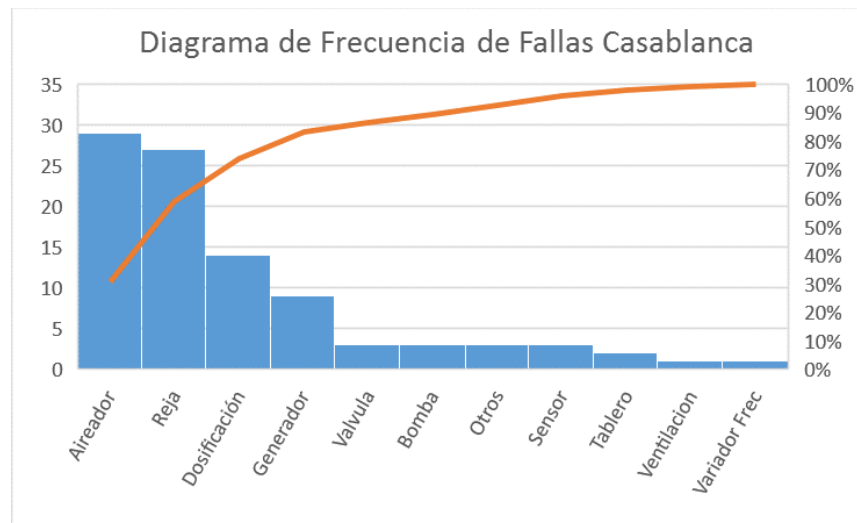


Figura 3.17 - Diagrama de Frecuencia de fallas PTAS (LA) Casablanca. Elaboración Propia

## Efecto de Fallas

Tabla 3.28 - Criticidad de equipos o sistemas PTAS (LA) Casablanca

Equipo	Ponderación
Reja	2,539
Generador	1,698
Aireador	1,666
Dosificación Qcos.	0,425
Sensores	0,215
Bombas	0,197
Tablero	0,172
Válvulas	0,160
Variador de Frec.	0,107
Ventilación	0,021
Soplador	0,000
Tornillo	0,000
Motor	0,000
Barredor de Grasa	0,000
Montacarga/Funicular	0,000
Compactador	0,000

Fuente: Elaboración Propia

Los valores presentados en la tabla 3.28 son obtenidos a partir de la multiplicación del Vector de Prioridad Global de Agua Potable (Tabla 3.5 - Resultados ponderación de Criterios AS) por la frecuencia de fallas de cada equipo (Tabla 3.6 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PPAP Casablanca).

Los equipos y/o sistemas con puntaje más alto son los que tienen un mayor impacto en los criterios establecidos. Como se ve en la tabla 3.28, la reja, el generador y los aireadores son los equipos con mayor valoración por ende es posible considerarlo como crítico, ya que tiene mayor repercusión en los criterios, es decir que podrían ocasionar multas de mayor consideración.

## Capacidad Planta

Tabla 3.29 - Capacidad y población atendida PTAS (LA) Casablanca

<b>Comunas atendidas</b>	Casablanca
<b>Población atendida</b>	27.348 habitantes
<b>Capacidad nominal</b>	Sin Información

Fuente: Elaboración Propia

Como muestra la tabla 3.29 PTAS Casablanca recibe las AS producidas en la comuna de Casablanca, por lo que su población atendida es de 27.348 habitantes. Con respecto a su capacidad de tratamiento, momentáneamente no se tiene información.

### 3.2.9 PTAS Placilla (LA)

Esta planta recibe las AS producidas en Placilla de Peñuelas y Curauma.

El proceso inicia con la llegada de las AS producidas en las localidades mencionadas, las que son sometidas a un proceso de retiro de arena y sólidos por gravedad, ya que estos elementos pueden desgastar los equipos que luego participan en el proceso. El agua pasa a través de rejillas (Gruesa y fina) para llegar a la LA, donde se agrega oxígeno con aireadores para facilitar el actuar de las bacterias. El agua continúa el proceso en la laguna de sedimentación, donde se retiran los lodos y son enviados en dos centrífugas que retiran el agua y los depositan en contenedores; el agua extraída es devuelta a la LA. Continúa el proceso en la cámara de contacto, donde se inyectan químicos para tratar el agua y poder, finalmente, descargarla en un Estero cercano.

Las imágenes de las dependencias de la PTAS Placilla se encuentran anexadas a esta memoria (Anexo E: *Dependencias PTAS - LA*).

Según la Figura 3.18, esta planta cuenta con los siguientes equipos y sistemas:

- |                                 |                                |
|---------------------------------|--------------------------------|
| (a) Válvula de entrada a Planta | (h) Laguna sedimentación       |
| (b) Bomba                       | (i) Extracción de Lodos        |
| (c) Rejas                       | (j) Cámara de contacto         |
| (c1) Reja Gruesa                | (k) Sensores/Medidores         |
| (c2) Reja Fina                  | (k1) Medidor de Caudal         |
| (d) Válvulas                    | (k2) Medidor de Cloro/segundos |
| (e) Laguna aireada              | (k3) Medidor de Cloro/día      |
| (f) Aireadores                  | (l) Centrífuga                 |
| (g) Dosificación de Químicos    | (m) Depósito de Lodos          |
| (g1) Estanque de Cloro          |                                |
| (g2) Óxido férrico              |                                |
| (g3) Antiespumante              |                                |

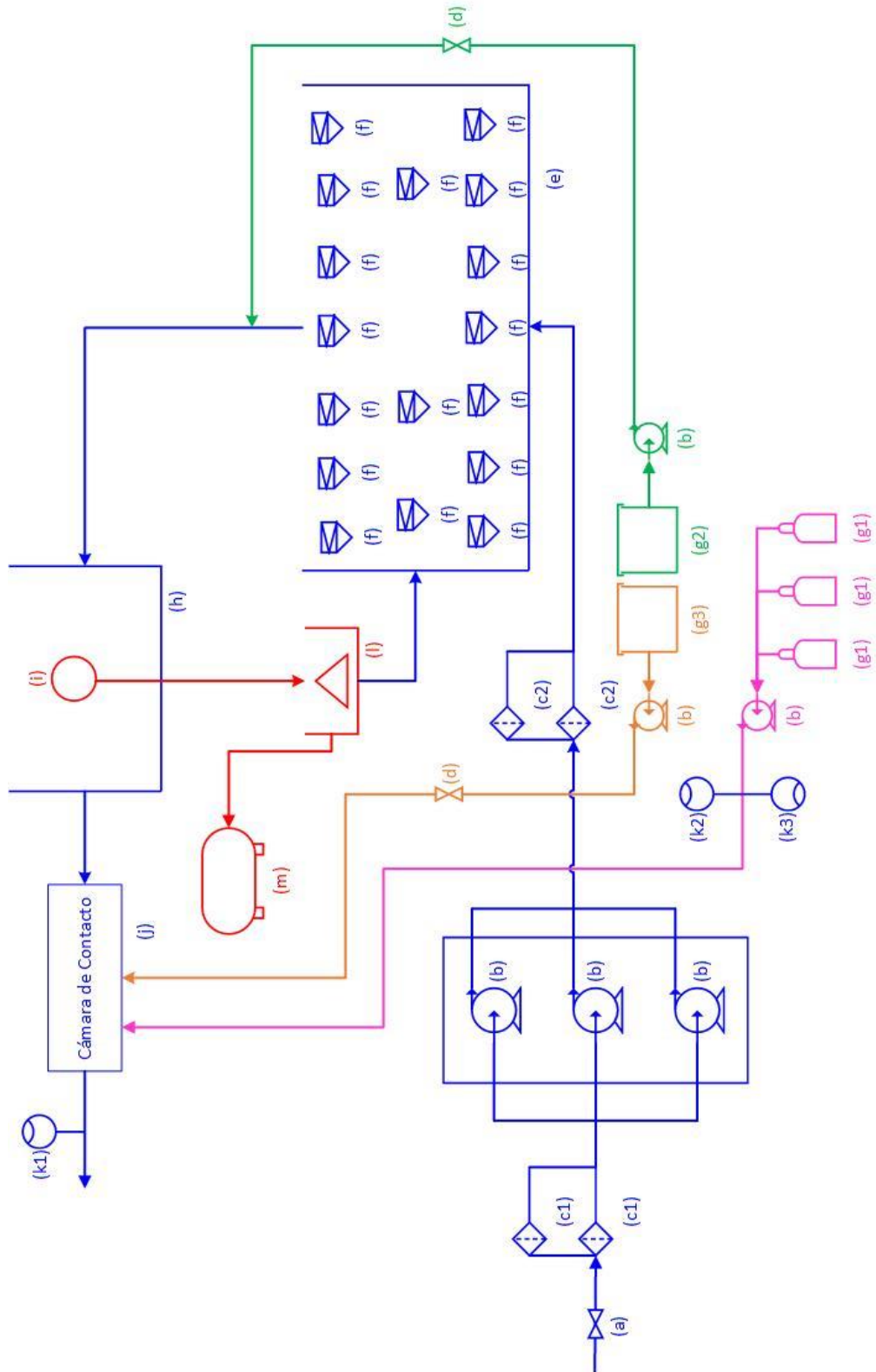


Figura 3.18 - Diagrama de Proceso PTAS (LA) Placilla. Elaboración Propia

## Frecuencia de Fallas

La tabla 3.30 muestra que 3 de los equipos representan el 81,89% de las fallas. Estos equipos son el Aireador, que presenta un porcentaje de fallas asociadas del 57,36% del total, seguido por las bombas con un 13,21% y el Sistema de Dosificación de Químicos con 11,32%.

Tabla 3.30 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PTAS (LA) Placilla

Origen	N° de fallas	%	% Acumulado
<b>Aireador</b>	152	57,36%	57,36%
<b>Bombas</b>	35	13,21%	70,57%
<b>Dosificación Qcos.</b>	30	11,32%	81,89%
<b>Válvulas</b>	12	4,53%	86,42%
<b>Generador</b>	8	3,02%	89,43%
<b>Otro</b>	8	3,02%	92,45%
<b>Tablero</b>	8	3,02%	95,47%
<b>Sensores</b>	7	2,64%	98,11%
<b>Reja</b>	5	1,89%	100,00%
<b>Total</b>	<b>265</b>	<b>100%</b>	<b>-</b>

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 3.30 y La Figura 3.19, permiten visualizar que el aireador podría ser un equipo crítico dentro de la planta.

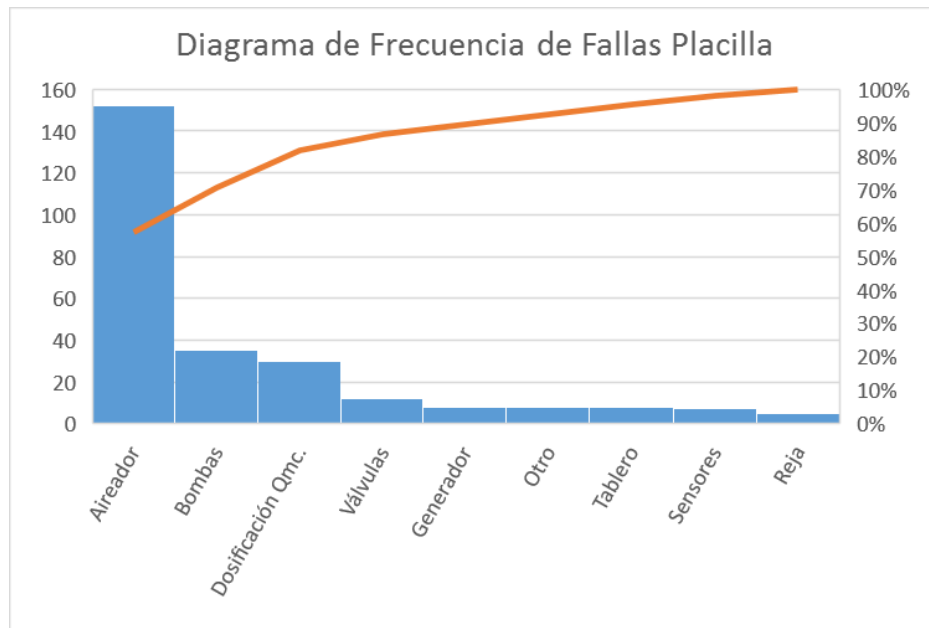


Figura 3.19 - Diagrama de Frecuencia de fallas PTAS (LA) Placilla. Elaboración Propia

## Efecto de Fallas

Tabla 3.31 - Criticidad de equipos o sistemas PTAS (LA) Placilla

Equipo	Ponderación
Aireador	8,731
Bombas	2,293
Generador	1,509
Dosificación Qcos.	0,911
Tablero	0,690
Válvulas	0,638
Sensores	0,503
Reja	0,470
Ventilación	0,000
Variador de Frec.	0,000
Soplador	0,000
Tornillo	0,000
Motor	0,000
Barredor de Grasa	0,000
Montacarga/Funicular	0,000
Compactador	0,000

Fuente: Elaboración Propia

Los valores presentados en la tabla 3.31 son obtenidos a partir de la multiplicación del Vector de Prioridad Global de Agua Potable (Tabla 3.5 - Resultados ponderación de Criterios AS) por la frecuencia de fallas de cada equipo (Tabla 3.30 - Tabla de Frecuencia de las Fallas PPAP Placilla).

Los equipos y/o sistemas con puntaje más alto son los que tienen un mayor impacto en los criterios establecidos. Como se ve en la tabla 3.31, los aireadores seguido por las bombas y generador son los equipos con mayor valoración por ende es posible considerarlo como crítico, ya que tiene mayor repercusión en los criterios, es decir que podrían ocasionar multas de mayor consideración.

## Capacidad Planta

*Tabla 3.32 - Capacidad y población atendida PTAS (LA) Placilla*

<b>Comunas atendidas</b>	Placilla de Peñuelas Curauma
<b>Población atendida</b>	70.000 habitantes aproximadamente
<b>Capacidad nominal</b>	92,3 l/s

*Fuente: Elaboración Propia*

La tabla 3.32 muestra que la planta de Placilla recibe las AS producidas en las localidades de Placilla de Peñuelas y Curauma y dichas comunas tienen una población aproximada de 70.000 habitantes (Rojas, 2014). Esta planta tiene una capacidad de tratamiento máxima de 92,3 l/s (ESVAL, 2009)

### 3.3 Resumen de Criterios

Basados en los criterios utilizados, obtenemos los siguientes resultados:

- **Agua Potable**

- Frecuencia de Fallas: se muestran las plantas ordenadas según la frecuencia de las fallas presentadas.

1° PPAP Concón: 453 fallas totales.

2° PPAP Peñuelas: 133 fallas totales.

3° PPAP Poza Azul: 64 fallas totales.

La planta Concón presenta más del triple de las fallas que presentan las otras plantas.

- Efectos de las fallas: se muestran los Valores obtenidos por planta en el resultado de criticidad, para poder comparar las plantas se utilizó el valor total de cada planta, es decir, incluye todos los quipos.

1° PPAP Concón: Valor ponderaciones 42,744.

2° PPAP Peñuelas: Valor ponderaciones 11,393.

3° PPAP Poza Azul: Valor ponderaciones 5,152.

- Capacidad de las Plantas y Cantidad de Clientes: se muestran las plantas ordenadas según la capacidad y la cantidad de clientes.

1° PPAP Concón: Entrega 1.200 l/s y atiende 195.360 habitantes.

2° PPAP Poza Azul: Entrega 80 l/s y atiende 159.705 habitantes.

3° PPAP Peñuelas: Entrega 80 l/s y atiende a 70.000 habitantes aproximadamente. A pesar de ser una planta de mayor tamaño que Poza Azul, debido al déficit de agua en la zona el embalse peñuelas tiene aproximadamente 10% de su capacidad total, por lo que entrega menor cantidad de agua y es respaldada en la mayoría de los casos por Las Vegas.

- **Aguas Servidas (ES)**

- Frecuencia de Fallas: se muestran las plantas ordenadas según la frecuencia de las fallas presentadas.

- 1° PTAS 2 Norte: 212 fallas totales.

- 2° PTAS Loma Larga: 167 fallas totales.

- 3° PTAS Higuierillas: 67 fallas totales.

La planta de 2 Norte presenta más fallas que las otras plantas.

- Efectos de las fallas: se muestran los Valores obtenidos por planta en el resultado de criticidad, para poder comparar las plantas se utilizó el valor total de cada planta, es decir, incluye todos los quipos.

- 1° PTAS 2 Nortes: Valor ponderaciones 12,834.

- 2° PTAS Loma Larga: Valor ponderaciones 11,124.

- 3° PTAS Higuierillas: Valor ponderaciones 3,641.

- Capacidad de las Plantas y Cantidad de Clientes: se muestran las plantas ordenadas según la capacidad y la cantidad de clientes.

- 1° PTAS Loma Larga: Trata 6.000 l/s y atiende 582.176 habitantes.

- 2° PTAS 2 Norte: Trata 2.600 l/s y atiende 318.009 habitantes.

- 3° PTAS Higuierillas: Trata 204 l/s y atiende 22.417 habitantes aproximadamente.

Con respecto a la capacidad de las plantas, Loma Larga tiene una capacidad de más del doble que 2 Norte, porque Loma Larga recibe las AS de 2 Norte en el periodo estival.

- **Aguas Servidas (LA)**

- Frecuencia de Fallas: se muestran las plantas ordenadas según la frecuencia de las fallas presentadas.

1° PTAS Placilla: 265 fallas totales.  
 2° PTAS Casablanca: 95 fallas totales.  
 3° PTAS Puchuncaví: 50 fallas totales.

La planta de Placilla presenta casi el triple de fallas que presenta la planta que le sigue en frecuencia y tiene 5 veces más fallas que la tercera planta.

- Efectos de las fallas: se muestran los Valores obtenidos por planta en el resultado de criticidad, para poder comparar las plantas se utilizó el valor total de cada planta, es decir, incluye todos los quipos.

1° PTAS Placilla: Valor ponderaciones 15,745  
 2° PTAS Casablanca: Valor ponderaciones 7,200.  
 3° PTAS Puchuncaví: Valor ponderaciones 2,859.

- Capacidad de las Plantas y Cantidad de Clientes: se muestran las plantas ordenadas según la capacidad y la cantidad de clientes.

1° PTAS Placilla: Trata 92,3 l/s y atiende 70.000 habitantes aproximadamente.  
 2° PTAS Casablanca: No se tiene información al respecto y atiende 27.348 habitantes.  
 3° PTAS Puchuncaví: No se tiene información al respecto y atiende a 16.688 habitantes.

A pesar de no contar con información de la capacidad total se consideró en este criterio en segundo lugar a la Planta de Casablanca y en tercer lugar a la Planta Puchuncaví por la población atendida por estas plantas.

Preliminarmente y considerando la información detallada en el resumen anterior, es posible indicar que las plantas seleccionadas serán:

1. Planta de Producción de Agua Potable: PPAP Concón, debido a presentar los valores más altos en los criterios analizados.
2. Planta de Tratamiento de Aguas Servidas – Emisario: PTAS 2 Norte, ya que presenta mayores valores en 2 de los 3 criterios analizados.
3. Planta de Tratamiento de Aguas Servidas – Laguna Aireada: PTAS Placilla, debido a presentar los valores más altos en los criterios analizados.

### 3.4 Planteamiento del Problema

Actualmente la Sub Gerencia de Mantenimiento de ESVAL se encuentra estancada en la actualización de su Plan de Mantenimiento por el desconocimiento de los equipos críticos de sus Instalaciones; Esto es porque se ignora la situación real de cada Planta con respecto a la cantidad y tipo de equipos presente en ellas y las consecuencias que producen sus fallas.

Por otro lado, el no tener Diagrama de Proceso de algunas plantas y mantenerlos en muchas ocasiones desactualizados los enfrenta al obstáculo de no saber con exactitud a qué equipos es necesario aplicarles un Mantenimiento Preventivo. Además, la Confiabilidad de los equipos, la Disponibilidad y la Eficiencia Económica de los mismos, son ejes propuestos por la Sub Gerencia con respecto a su funcionamiento y que no es posible seguir, ya que el Mantenimiento Correctivo que aún se está aplicando genera incertidumbre debido a los tiempos de reparaciones y reposiciones, además del estado y cantidad real de los equipos.

Lo mencionado anteriormente genera a ESVAL las siguientes consecuencias:

- Aplicación de un Mantenimiento Correctivo en un 79.1% de las ocasiones, lo que genera tiempos de reposición y/o reparación de equipos cercano a los 45 días. A diferencia del Mantenimiento Preventivo que corresponde al 20,9% de las ocasiones, donde en promedio son 12 días de reposición y/o reparación. Esto, en ocasiones, genera elevadas multas cursadas por la Armada de Chile, producto de rebases provocados por falta de mantenimiento de equipos
- Falta de confiabilidad y disponibilidad en los equipos por desconocimiento del estado y cantidad de los mismos.

Luego de analizar las fallas en las plantas, es posible señalar que el problema de la Sub Gerencia de Mantenimiento de ESVAL radica en los desperfectos producidos en las plantas de AP y AS, debido a reiteradas fallas en los equipos y la no identificación de las causas que la generan y las consecuencias que ellas producen.

## 4. Objetivos

### 4.1 Objetivo General

El objetivo General es proponer un Modelo de Gestión de Activos en el Área de Mantenimiento de ESVAL S.A., que permita aumentar el nivel de confiabilidad y reducir los costos asociados de equipos en PPAP y PTAS.

### 4.2 Objetivos Específicos

- Definir estructura operacional de las plantas, es decir, elaborar Diagrama de Procesos de las mismas, que permita identificar sistemas, equipos y componentes presentes.
- Determinar y categorizar los equipos y sistemas presentes en las plantas, según su naturaleza.
- Definir el tipo de mantenimiento para los equipos o sistemas presente en las plantas, para desarrollar un Plan de Gestión de Activos.
- Analizar Económicamente la Propuesta de Modelo de Gestión de Activos.

## 5. Marco Teórico

La Metodología propuesta por Luís Amendola, busca conseguir que la empresa opere según los requerimientos del rubro para mantener su capacidad productiva de diseño, eliminando pérdidas y aumentando así la eficiencia en las operaciones. Por esto, toda empresa debe tener una visión y un enfoque global que vincule las actividades relacionadas en el ámbito de la producción y debe reconocer que ninguna función es independiente, valorándolas como conjunto de actividades complementarias que buscan a lograr los estándares requeridos de productividad, calidad y “humanidad” en los sistemas productivos (Amendola, 2011).

### 5.1 Gestión de Activos

La Gestión de Activos es un término adoptado como un rótulo para la gestión integral de la infraestructura industrial durante toda su vida útil. En la práctica, es la rama de la actividad empresarial que involucra los procesos de inversión y renovación de equipos industriales, su operación, mantenimiento y el manejo de materiales y recursos asociados.

El mantenimiento moderno está orientado a la maximización de la disponibilidad de los equipos al mínimo costo global. Este enfoque denominado mantenimiento basado en la disponibilidad es transversal a todas las etapas de la gestión de activos permitiendo básicamente (Arata & Furlanetto, 2004):

- La detección de cuellos de botella en la producción y la evaluación de proyectos de inversión mejorativos.
- La identificación de los diversos modos de falla y sus efectos en la producción y la seguridad de las personas.
- La definición de las políticas de mantención óptimas y coherentes a cada modo de falla.
- El control de parámetros que determinan el rendimiento de los activos industriales como forma de prevenir y predecir eventos de falla.
- La minimización del número de fallas en equipos, mediante la participación del personal de operaciones en las actividades de mantenimiento primario.
- La prolongación de la vida útil de los equipos.

La función del mantenimiento está apoyada por una serie de herramientas agregadas en las categorías de: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), correspondiente a una metodología que permite minimizar las tareas de mantenimiento y, a su vez, preservar la funcionalidad de los sistemas productivos; TPM, que involucra a los operadores en el

mantenimiento primario de los equipos, y Mantenimiento Mejorativo, enfoque de la Ingeniería en Mantenimiento orientado al mejoramiento continuo de plantas industriales a nivel de diseño.

## 5.2 Concepto de Confiabilidad

El concepto de confiabilidad, al igual que muchas técnicas de Calidad y Productividad, tuvo su origen durante la Segunda Guerra Mundial, pues en ese momento era una meta fundamental lograr alta confiabilidad en el material bélico a fin de disminuir al máximo la probabilidad de falla de cualquier equipo. La definición más aceptada, la especifica como la capacidad (probabilidad) de un producto, proceso o sistema para realizar una función en un ambiente específico por un determinado período de tiempo o eventos (Acuña, 2003).

Tanto Confiabilidad como Calidad presentan muchos aspectos comunes incluso en sus definiciones. Sin embargo, ambos términos, a pesar de ser atributos ampliamente aceptados y requeridos, se confunden e idealizan sin aplicaciones que permitan la implementación efectiva en el área de mantenimiento.

Existen tres formas para enfocar la confiabilidad (Arata & Furlanetto, 2004):

- Confiabilidad de equipos.
- Confiabilidad de sistemas.
- Mantenimiento centrado en confiabilidad.

### 5.2.1 Confiabilidad de equipos

Mediante aproximaciones estadísticas y modelos probabilísticos de distribución como Weibull o Exponencial es posible encontrar un desarrollo válido de análisis de confiabilidad de componentes y equipos al integrar los datos de falla. Este desarrollo, utilizando el análisis agregado y tabulado de tiempos en que se produce cada desperfecto, permite a partir del modelo estadístico calcular importantes parámetros que identifican las causas de fallas, para esto se puede utilizar el desarrollo manual o asistido por software (Arata & Furlanetto, 2004).

El análisis puede ser desarrollado para cada componente del equipo y obtener los tiempos óptimos de planificación de mantención y, de esta manera, un plan integrado para el equipo.

Otro análisis es el conjunto de todos los componentes que permite una visión integrada de las formas de la falla.

### 5.2.2 Confiabilidad de sistemas

Para sistemas con múltiples equipos en línea, requerimientos especiales de producción conjunta de equipos y con equipos stand-by, es posible integrarlos en modelos matemáticos para evaluar, por ejemplo, el impacto individual de cada equipo en el resultado global de disponibilidad esperada o producción.

### 5.2.3 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual (Moubray, 2004).

Es una herramienta de análisis recurrente y sistémica que mediante el estudio de modos de falla y sus efectos permite la optimización de los planes de mantenimiento, procedimientos existentes y además un levantamiento de proyectos de mejoramiento.

RCM requiere plantear un diseño de inserción cultural diagnosticando la situación actual con relación al objetivo para definir el período, la energía y la atención organizacional para alcanzar los objetivos.

## 5.3 Desarrollo de una Estrategia de Mantenimiento

La función de mantenimiento ha incrementado de manera significativa su impacto en los costos globales y en los resultados operacionales de las empresas. Desde el punto de vista estratégico la planificación de las actividades de mantenimiento hace tres décadas estaba más vinculada a prioridades presupuestarias o a lo realizado en el periodo anterior, y no como un servicio a la producción vital para garantizar la continuidad, seguridad y rentabilidad de los procesos productivos, inclusive influyendo de manera significativa en la prolongación de la vida útil de los activos (Arata & Stegmaier, 2004).

Las estrategias de mantenimiento de activos industriales más conocidas se pueden clasificar en dos categorías:

- Correctiva
- Preventiva
  - Cíclica
  - Según condición
  - Predictiva

### 5.3.1 Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo, también conocido como Run to Failure (RTF), consiste simplemente en una estrategia de “reparar lo dañado”. Se entiende por mantenimiento correctivo la corrección de las averías o fallas, cuando éstas se presentan. Es la habitual reparación tras una avería que obligó a detener la instalación o máquina afectada por el fallo (Renovetec, 2009).

Usualmente tiene asociados bajos niveles de planificación del mantenimiento y excesivos niveles de inventarios de repuestos y mano de obra como forma de resguardar la continuidad de los procesos productivos. La utilización exclusiva de esta estrategia de mantenimiento generalmente es insuficiente y puede representar costos extremadamente significativos si los tiempos medios de reparación se dilatan producto de la propagación de fallas o stock-out de repuestos (Arata & Stegmaier, 2004).

Existen dos formas diferenciadas de Mantenimiento Correctivo (Renovetec, 2009):

- Programado: Supone la reparación de la falla cuando se cuenta con el personal, las herramientas, la información y los materiales necesarios. Además, el momento de realizar la reparación de adapta a las necesidades de la producción.
- No programado: Supone la reparación de la falla inmediatamente después de presentarse.

Es relevante que el mantenimiento correctivo es, comúnmente, el más deficiente en cuanto a la seguridad de los operadores si se compara con otras estrategias que utilizan herramientas preventivas y predictivas y predictivas de fallas.

### 5.3.2 Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo surge como respuesta para superar las insuficiencias propias del mantenimiento correctivo. Su objetivo es reducir la probabilidad de ocurrencia de falla evitando detenciones repentinas en la producción y manteniendo los equipos en óptima operación. El mantenimiento preventivo puede definirse como la programación de actividades de inspección de los equipos, tanto de funcionamiento como de limpieza y calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica con base en un plan de aseguramiento y control de calidad (INECC, 2010).

Esta estrategia posee una gama de herramientas para la definición de tareas de mantenimientos y reemplazo de equipos basadas en el tiempo de operación o la etapa en el ciclo de vida en que se encuentran. Las técnicas de mantenimiento preventivo se enmarcan

dentro del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), siendo la más conocida el Análisis de Modo de Falla y Elementos Críticos (MAFEC) y otras basadas en Life Cycle Cost (LCC) tales como Time Based Maintenance (TBM) y Time Based Discard (TBD) (Arata & Stegmaier, 2004).

Las Ventajas del mantenimiento preventivo sobre el correctivo son los siguientes (Arata & Stegmaier, 2004):

- Permite planificar las actividades de mantenimiento y, por lo tanto, determinar los requerimientos de recursos humanos y materiales (partes, piezas y herramientas).
- Puede reducir los costos de falla puesto que se enfoca en evitar la ocurrencia de estos eventos.
- Minimiza el tiempo en reparación de los equipos al desarrollarse las tareas de mantenimiento de manera planificada.
- La seguridad de los operadores se ve incrementada al reducir los eventos de falla.

Estos antecedentes no implican que una estrategia de mantenimiento preventivo deba reemplazar completamente a una correctiva. La clave es determinar la criticidad de cada modo de falla considerando su efecto en la producción y la seguridad de las personas. Como regla general, las fallas críticas son tratadas de manera distinta a las que no lo son, lógicamente las más críticas son candidatas a modelos de mantenimiento predictivo o preventivo y las de menos impacto a procedimientos correctivos de reparación.

### *Mantenimiento cíclico*

El mantenimiento cíclico de mantención es la forma más básica de realizar mantenimiento preventivo, ya que las intervenciones se ejecutan de manera establecida según fecha (calendario) o según edad (horas de operación), siendo esta última una forma algo más evolucionada que la primera.

Más allá de las intervenciones de carácter rutinario, esta forma de mantención tiene sentido sólo durante la fase de desgaste del equipo, ya que, para el resto de las etapas, es necesario diagnosticar para decidir la conveniencia de intervenir, en cuyo caso estaríamos en presencia de una mantención preventiva según condición o del tipo predictiva (Arata & Stegmaier, 2004).

### *Mantenimiento según condición y predictivo*

El mantenimiento basado en condición (CBM) consiste en el control de los activos industriales a través del monitoreo de parámetros representativos del rendimiento o condición de un equipo. Esta estrategia supone la definición de un rango aceptable de operación para cada parámetro observado y el monitoreo de su valor instantáneo o periódico según sea necesario. El mantenimiento se realiza cuando una variable de control presenta valores que exceden los límites aceptables de operación y no necesariamente en respuesta a una detención o falla verificada en el equipo. Un aspecto importante es que se pueden definir distintos estados de rendimiento dentro del rango aceptable de operación, lo que permite realizar un seguimiento y predecir la condición futura del equipo. En este caso, estaríamos en presencia del Mantenimiento Predictivo, ya que a diferencia de la “Según Condición”, en que la intervención se realiza cuando se alcanza un nivel crítico establecido, en la predictiva, a través del comportamiento de una variable en el tiempo, es posible modelar y predecir la condición futura y así decidir el tiempo para la intervención.

Esta estrategia es aplicable a modos de falla críticos cuyo costo de falla justifica una inversión efectiva en equipamiento, si está disponible, y personal para el control de los procesos productivos por sobre estrategias de mantenimiento de tipo preventivo (Arata & Stegmaier, 2004).

### 5.3.3 Selección de una estrategia de Mantenimiento

La selección de una estrategia de mantenimiento supone la diferenciación previa de las fallas significativas para el sistema productivo y la seguridad de las personas de las que no lo son.

Para poder encontrar el “mix” de políticas de mantención que definan la estrategia más conveniente, es necesario conocer el grado de criticidad de los equipos que componen un sistema, entendido como el resultado de la frecuencia de fallas y el impacto generado por los mismos. Es decir, se requiere conocer el comportamiento de la tasa de falla, de manera de identificar en qué fase del ciclo de vida se encuentra el equipo, como también los costos globales asociados a la ejecución de la mantención, a la falla del servicio generado por la falla y a las inspecciones para diagnosticar el estado de los equipos. El conocimiento de este último costo es fundamental para justificar la conveniencia de realizar una mantención preventiva del tipo “según condición” o “predictiva” durante el período de la tasa de falla constante.

Una herramienta común para la jerarquización de los modos de falla es MAFEC, herramienta que proporciona una visión del tipo de falla que con más probabilidad experimentará un elemento de la lista de componentes, identificando los más críticos desde el punto de vista de su falla, considerando especialmente las consecuencias para el sistema productivo. Es un análisis exhaustivo que tiene un gran impacto en el diseño en general y en las decisiones sobre confiabilidad y mantenibilidad en particular.

Es importante mencionar que la participación de los operadores en las actividades primarias de mantenimiento (lubricación, limpieza, inspecciones de rutina, ajustes y reparaciones menores) es en sí parte fundamental de una estrategia de mantenimiento efectiva para mejorar la disponibilidad y calidad de los equipos para la producción. Este enfoque fue desarrollado en la industria manufacturera japonesa y es conocido como (TPM).

## 6. Marco Metodológico

La metodología que fue utilizada está basada en la propuesta por Luis Amendola: Metodología Integral de Gestión de Activos Físicos (norma Pas 55 e ISO 55000) (Amendola, 2011).

Esta metodología se divide por fases:

1. Diagnóstico y análisis de la situación actual.
2. Análisis de la criticidad.
3. Estrategia de confiabilidad.
4. Desarrollo de plan de mantenimiento de activos.
5. Plan de acción de cobertura de mantenimiento predictivo.
6. Plan general de Gestión de activos físicos.

La metodología propuesta por Luis Amendola se adapta a los objetivos propuestos en el apartado 3. *Objetivos*, sin embargo, las fases 1 y 2 fueron desarrollados en el apartado 2.1 *Situación actual*, donde se analizó en detalle la situación actual de la empresa y se plantea un análisis de criticidad de equipos en planta. Por lo anterior se considera desde la fase 3 en adelante; las fases 4 y 5 son combinadas, porque del desarrollo del plan de mantenimiento se considera el plan de acción.

Las fases de la metodología a utilizar son las siguientes:

1. Estrategia de confiabilidad.
2. Recomendación de plan de mantenimiento.
3. Plan general de gestión de activos.

### 6.1 Fase 1: Estrategia de confiabilidad

El objetivo de esta fase es incrementar la eficiencia y el rendimiento financiero de la planta, esto lleva a un nuevo plan de mantenimiento, donde se logre un equilibrio entre los distintos tipos de mantenimiento. Para esto se utilizó método RCM (Moubray, 2004).

RCM es un método que busca Reducir el número, frecuencia y contenido de las reparaciones generales de los sistemas, aumentando la disponibilidad de los equipos y reduciendo el costo de las operaciones de mantenimiento y del volumen de los inventarios de repuestos e insumos y cuyo objetivo es que los elementos físicos continúen desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional, para esto hace una serie de preguntas acerca de cada uno de los elementos seleccionados:

1. ¿Cuáles son las funciones y parámetros de funcionamiento del activo en su contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre la falla?
5. ¿En qué sentido es importante la falla?
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir la falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Estas preguntas se ven reflejadas en los pasos recomendados para la implementación de RCM (Figura 6.1).

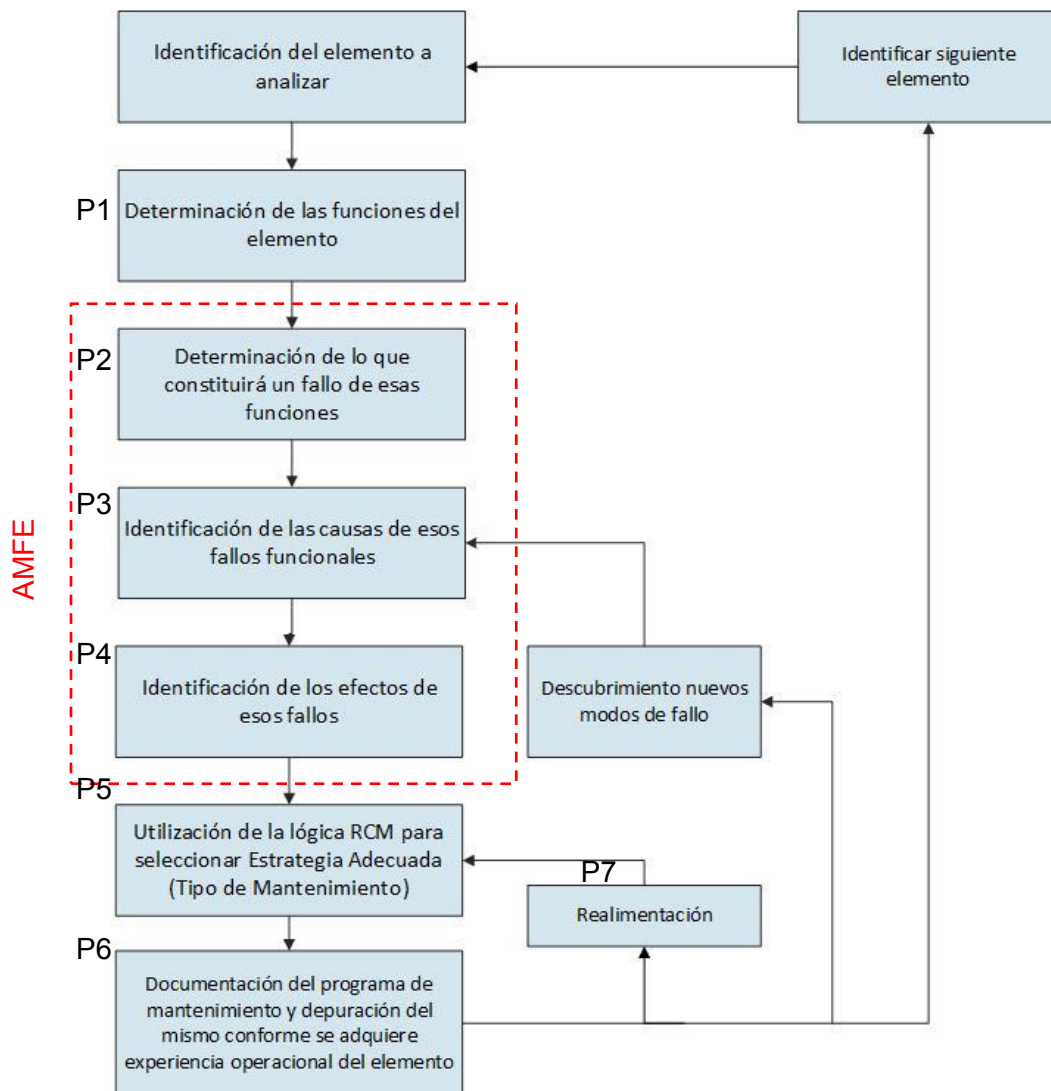


Figura 6.1 Esquema etapas RCM. Elaboración Propia

### 6.1.1 Análisis Funcional

Para RCM es necesario identificar cuáles son las funciones del equipo, es decir, que se espera que realice éste y para qué labor fue adquirido. Estas funciones se pueden dividir en funciones principales, como también en funciones secundarias, esto según el proceso y las especificaciones técnicas de los equipos involucrados.

Una vez identificadas las funciones se procede a establecer las posibles fallas que podría presentar. Es decir, Identificar en qué fallaría el equipo o sistema, siendo estos, incapaces de cumplir con los estándares funcionamiento (falla funcional).

Esta primera etapa responde a las dos primeras preguntas de RCM “¿Cuáles son las funciones y parámetros de funcionamiento del activo en su contexto operacional?” y “¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?”

### 6.1.2 Análisis de modo de falla y sus efectos (AMFE)

Para responder las preguntas planteadas por RCM, “¿Cuál es la causa de cada falla funcional?” y “¿Qué sucede cuando ocurre la falla?” se utiliza el análisis de modo de falla y sus efectos, ya que estableciendo en qué podría fallar un elemento e identificando cuales serían las posibles causas de estos fallos se podrá comprender de mejor manera como prevenir que ocurran, además de optimizar el tiempo y esfuerzo, ya que en lugar de tratar los síntomas se trabajará inmediatamente con las causas previamente definidas.

Los modos de falla se pueden categorizar en 3 grupos:

1. Cuando la capacidad cae por debajo del funcionamiento deseado: La capacidad cae por debajo del funcionamiento deseado una vez puesto en servicio.
2. Cuando el funcionamiento deseado se eleva encima de la capacidad inicial: El funcionamiento deseado se eleva más allá de la capacidad luego de que el equipo entra en servicio.
3. Cuando desde el comienzo el activo físico es no es capaz de hacer lo que se quiere: el funcionamiento del equipo está fuera del rango de lo que se desea desde un comienzo.

Para Lograr llegar a las causas de las fallas es necesario detallar los modos de falla, esto es en base a niveles, donde el primer nivel será la falla general, el segundo nivel será la falla de los componentes principales del equipo, y así sucesivamente hasta llevar al detalle necesario para definir causas.

Al igual que identificar las causas de las fallas, es necesario identificar las consecuencias de éstas para saber cómo y cuánto importa cada falla, para saber si es necesario prevenir o no estos sucesos. Esta información se ingresa en la Hoja de Información de RCM II, que se ve en la tabla 6.1.

Tabla 6.1 - Hoja de Información RCM II

Hoja de Información RCM II © 1990 ALADON LTD	<b>Sistema/Equipo:</b> Dosificación de Químicos		<b>Realizado por:</b> Sofía Olivares	<b>Fecha:</b> Noviembre 2016
	<b>Subsistema:</b> Bombas Dosificadoras		<b>Revisado por:</b> Alfonso López	<b>Fecha:</b> Diciembre 2016
Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto de la Falla	

Fuente: Moubray, 2004

Las consecuencias de las fallas se dividen en 4 grupos:

- *Consecuencias de fallas no evidentes:* Fallas sin un impacto directo, pero exponen a la organización a otras fallas que podrían ser graves, este método les da una gran importancia a estas fallas, y las reconoce como tal a pesar de no ser evidentes.
- *Consecuencias en seguridad y medio ambiente:* Cuando las fallas afectan físicamente a alguien y si no se cumplen con las normas medio ambientales. Este método considera primero estas consecuencias antes que las de funcionamiento.
- *Consecuencias operacionales:* Cuando una falla afecta la producción, es decir, que cuestan dinero y dependiendo de esto se estima cuanto gastar en tratar prevenir las.
- *Consecuencias no operacionales:* No afectan ni a la seguridad, ni a la producción, su único costo es el de reparación.

Lo anterior permite identificar si las fallas tienen una consecuencia significativa. De no ser así es posible un mantenimiento que no sea sistemático; si las consecuencias son significativas es necesario establecer que tareas sistemáticas se podrían hacer para prevenir esto. Esto responde a la quinta pregunta de RCM “¿En qué sentido es importante la falla?”

## 6.2 Fase 2: Recomendación Plan de Mantenimiento

Sobre la base de lo recopilado se entrega un conjunto de acciones recomendadas centradas en el modo de fallo, donde se especificarán si dichas acciones corresponden a acciones rutinarias hechas por personal de mantenimiento, acciones hechas por operarios y acciones on/off hechas por especialistas de equipos rotativos, estáticos e instrumentación.

### 6.2.1 Tareas de mantenimiento

Para prevenir fallas o reducir sus consecuencias, cuando estas son significativas se utilizan las tareas de mantenimiento estas son:

- *Tareas a condición:* Toda falla da indicios de que podrían ocurrir, para esto es necesario saber cuáles serían las fallas potenciales, que son estas advertencias, y son condiciones físicas que indican que podría ocurrir alguna falla funcional. Al identificarlas a tiempo es posible prevenir y tomar medidas antes que ocurran. Las tareas a condición permiten que el equipo siga funcionando siempre y cuando cumplan con los estándares de funcionamiento. Lo principal es detectar las fallas potenciales antes de que éstas afecten con los estándares.
- *Tareas de reacondicionamiento cíclico y de sustitución cíclica:* Los equipos y sistemas son revisados en una frecuencia determinada, independiente del estado de estos.

Una de las principales ventajas de RCM es la utilización de criterios simples, precisos y fáciles de comprender para saber qué tipo de tarea sistémica realizar y, si es necesario, la frecuencia de esta y el responsable de hacerla. Además, es posible ordenar las tareas sobre la base de las prioridades.

En caso que estas tareas no sea posible aplicarlas, RCM propone las “Acciones a Falta de”, las que tratan con el estado de falla.

La información anterior es organizada en la Hoja de Decisión de RCM II, que se muestra en la tabla 6.2 y permite responder a la pregunta “¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir la falla?”

Tabla 6.2 - Hoja de Decisión RCM II

HOJA DE DECISIÓN RCM II © 1990 ALADON LTD		Sistema/Equipo: Dosificación de Químicos						Realizado por: Sofía Olivares			Fecha: Noviembre 2016		
		Subsistema: Bombas Dosificadoras						Revisado por: Alfonso López			Fecha: Diciembre 2016		
Referencia de Información	Evaluación de las Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
	F	FF	FM	H				S	E	O			

Fuente: Moubray, 2004

Para completar la tabla 6.2, se sigue la secuencia mostrada en la Figura 6.2 - *Cómo se registran las consecuencias de falla en la Hoja de Decisión.*

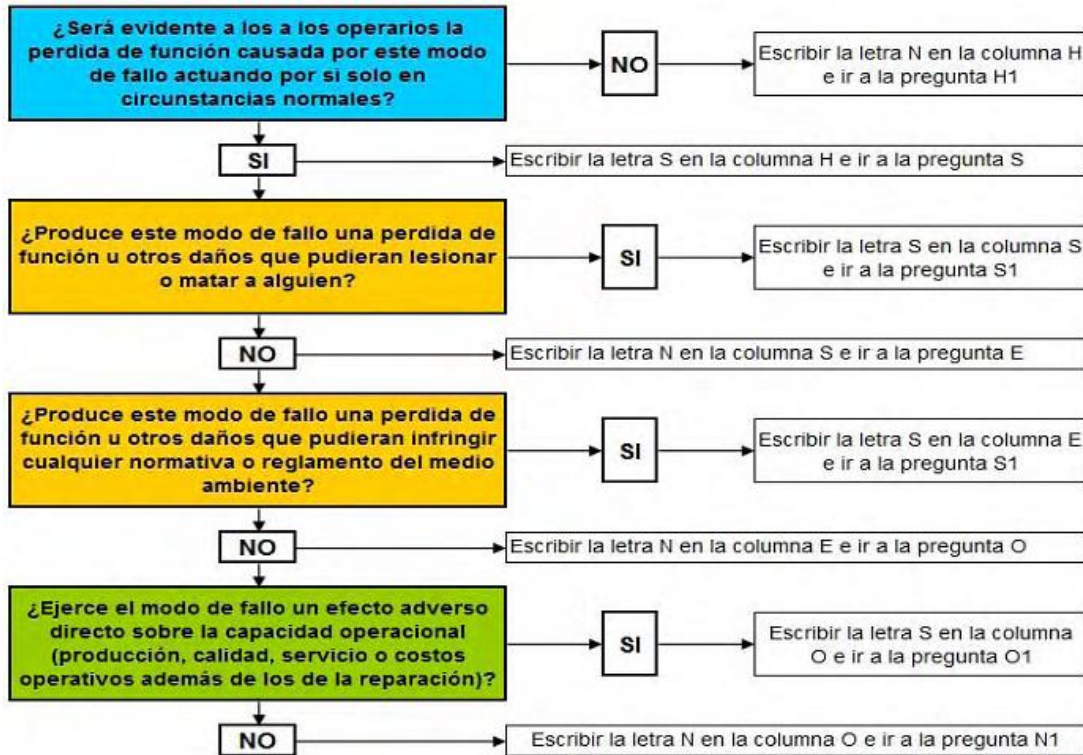


Figura 6.2 - *Cómo se registran las consecuencias de falla en la Hoja de Decisión.* Moubay 2004

#### 6.2.1.1 Diagrama de decisión RCM II

La Hoja de Decisión de RCM II (Tabla 6.2) permite asentar las respuestas a las preguntas del Diagrama de Decisión y, en función de dichas respuestas, registrar el tipo de mantenimiento, la frecuencia, quién lo hará, etc. La Figura 6.3 muestra el Diagrama de Decisión.

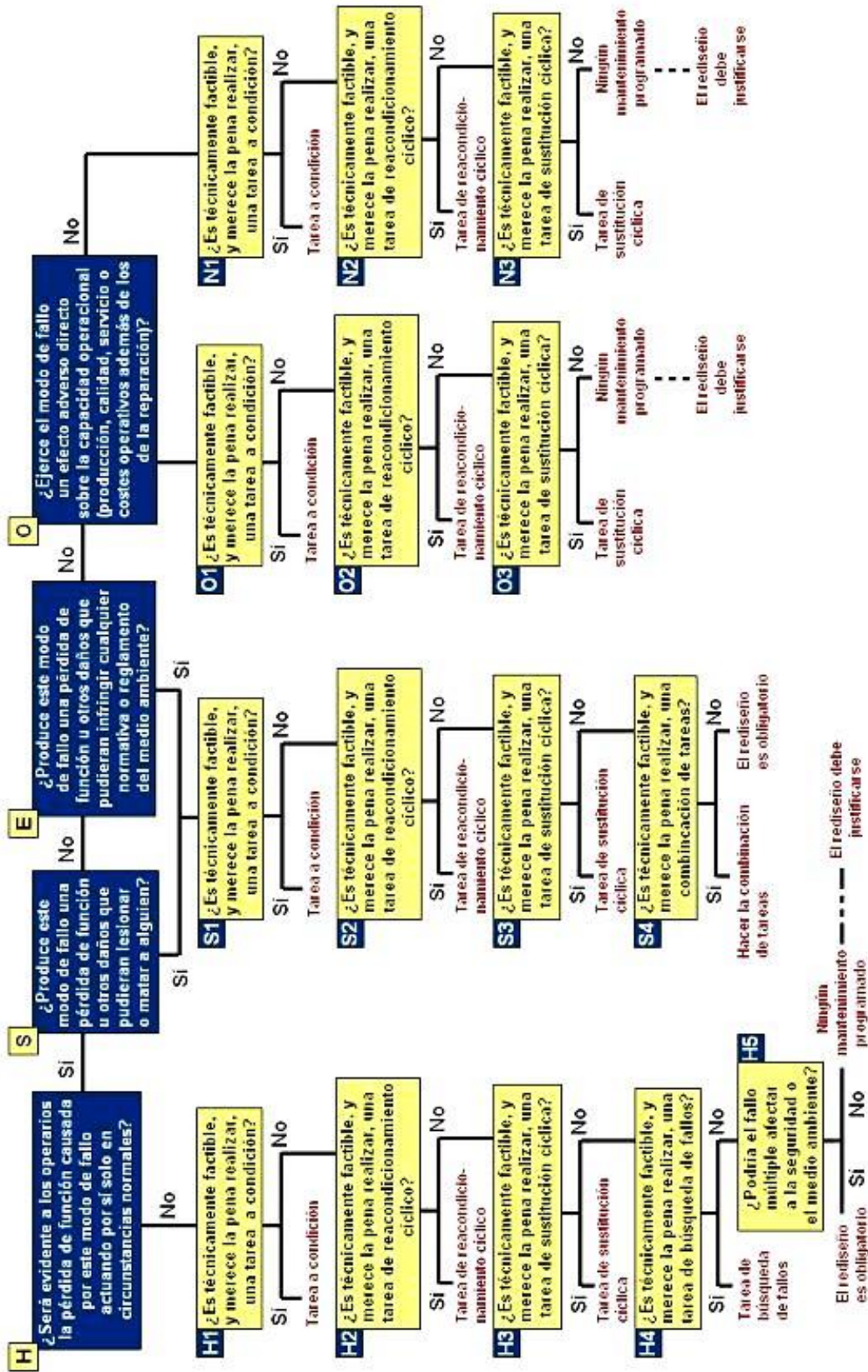


Figura 6.3 - Diagrama de Decisión RCM II. Moubray, 2004

### 6.3 Fase 3: Plan general de Gestión de activos físicos

Utilizando lo obtenido de las fases anteriores se pretende garantizar el mejor rendimiento posible de los activos utilizando una estrategia de mantenimiento basado en la confiabilidad, ésta se apoya en la condición de los equipos, para identificar los problemas y evitar su recurrencia. Lo anterior permite adelantarse a las fallas o reaccionar oportunamente a estas para extender el ciclo de vida.

Para lograr lo anterior, se utilizan los POE y los Plan de Mantenimiento para cada equipo de manera separada, según su intervalo.

#### 6.3.1 Procedimiento Operativo Estándar y Plan de Mantenimiento

##### *Procedimiento Operativo Estándar*

El Procedimiento Operativo Estándar es una tabla que contiene los procedimientos de mantenimiento de alta frecuencia, que son realizados por los operarios de los equipos (Moubray, 2004).

En la tabla 6.3 se muestra el Procedimiento Operativo Estándar.

*Tabla 6.3 - Procedimiento Operativo Estándar*

<b>Procedimiento Operativo Estándar</b>
<b>EQUIPO SELECCIONADO</b>
<p>Descripción de las acciones a realizar en el turno del operario, extraídas de la correspondiente Hoja de Decisión del mismo Equipo</p>

*Fuente: Moubray, 2004*

##### *Plan de Mantenimiento*

El plan de mantenimiento es el documento que lista un grupo de tareas de mantenimiento que debe realizar una persona con un nivel de conocimientos específico en un activo (Moubray, 2004).

En el caso de ESVAL, el personal que realiza estas operaciones, es externo (Empresa Contratista). La tabla 6.4 muestra el Plan de Mantenimiento.

*Tabla 6.4 - Plan de Mantenimiento*

<b>Procedimiento Operativo Estándar</b>	
<b>EQUIPO SELECCIONADO</b>	
<b>Intervalo</b>	<b>Realizado por</b>
<b>INTERVALO</b>	<b>PERSONAL A CARGO</b>
<p>Descripción de las acciones a realizar por el Contratista, considerando sólo las tareas que coincidan en los intervalos, según la Hoja de Decisión correspondiente del equipo.</p>	

*Fuente: Moubray, 2004*

Para completar la tabla 6.4, se deben consolidar las frecuencias de las operaciones a realizar. La tabla 6.5 muestra esta consolidación.

*Tabla 6.5 - Frecuencia de Tareas Consolidadas*

Intervalos de las tareas en la Hoja de Decisión	Intervalos en el Plan de Mantenimiento
Diario	Diario
Semanal	Semanal
2 Semanas	
Mensual	Mensual
6 Semanas	
2 Meses	
3 Meses	3 Meses
4 Meses	
6 Meses	6 Meses
9 Meses	
12 Meses	12 Meses

*Fuente: Moubray, 2004*

## 7. Metodología Aplicada

### 7.1 PPAP Concón

#### Identificación del Elemento a Analizar

En la PPAP Concón, se seleccionó el Sistema de Dosificación de Químicos. Este sistema permite que se cumplan con los estándares indicados por la SISS y en el caso de esta planta, es el sistema que presenta mayor cantidad de fallas y al mismo tiempo, influye más en las consecuencias directas e indirectas. En la figura 7.1 se muestra el proceso general de este sistema, el que va a depender si el químico se aplica directo al caudal (a) o con una mezcla previa (b).

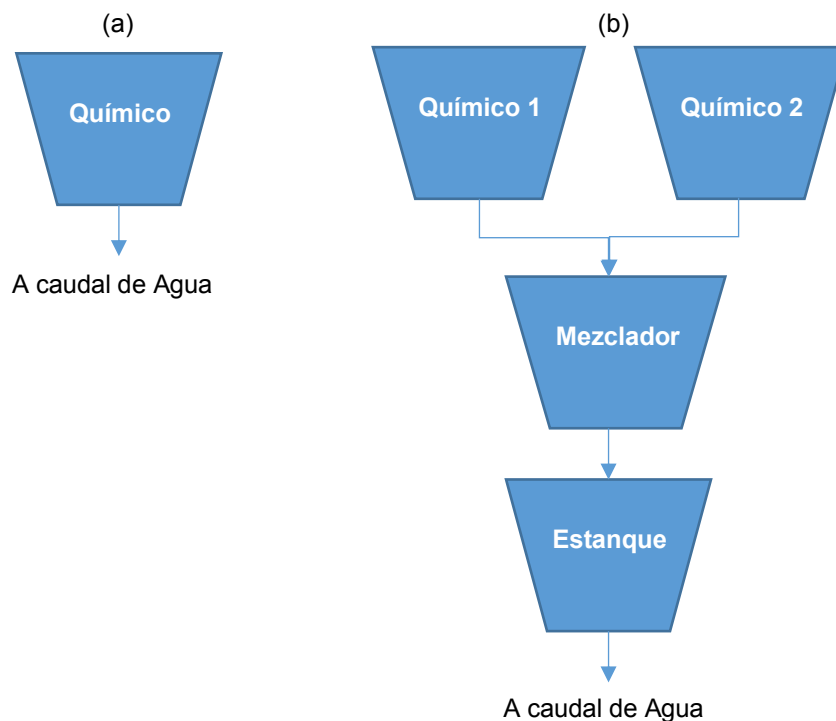


Figura 7.1 - Diagrama de Proceso Dosificación de Químicos directa (a) y mezclada (b). Elaboración Propia

En la figura 7.1 se puede observar las dos formas de dosificación de químicos que se utilizan en la PPAP Concón:

- (a) Dosificación directa: Carbón activado, Cloruro férrico, Permanganato de Potasio, Cloro.
- (b) Dosificación mezclada: Flúor+Sal+Agua, Sulfato de Aluminio+ Magnafloc (Si no es necesario el Magnafloc, el Sulfato de Aluminio se utiliza con dosificación directa)

Los avisos relacionados al sistema de dosificación de químicos son registrados en SAP y en la Tabla 7.1 se ve reflejada dicha información, donde se descuentan aquellos avisos relacionados con reparaciones y sistemas complementarios (fitting, cañerías, válvulas etc). Se puede observar que las bombas son el equipo con mayor porcentaje de fallas, con el 90,15%. Además, la bomba es el equipo que realiza la función de enviar el químico al caudal de Agua, siendo un equipo clave en este sistema. Por ello, se considera la Bomba dosificadora para el plan de gestión de activos.

Tabla 7.1 - Datos de adquisición y reparación equipos sistema de dosificación de químicos PPAP Concón

Equipo	Porcentaje	Valor equipo nuevo [MM\$]	Valor Reparación [MM\$]	Tiempo de cambio [días]	Tiempo de reparación [días]
Bombas	90,15%	1	0,2	2	30
Tornillo	7,58%	3,5	0,4	2	30
Agitador	2,27%	5,5	1,2	2	30

Fuente: Elaboración Propia, según datos entregados por Ingeniero en Mantenimiento de la empresa

### Determinación de las funciones del elemento

La función principal del sistema de dosificación de químicos es provocar que el agua extraída de la fuente (Superficial o Subterránea) modifique su composición, olor, color y sabor para cumplir lo indicado en la NCh 409, con respecto a la presencia de Parámetros Físicos, Orgánicos e Inorgánicos. La tabla 7.2 muestra la cantidad óptima de cada químico utilizado en el proceso, información proporcionada por el Laboratorio de la PPAP Concón:

Tabla 7.2 - Especificaciones de dosificación de químicos PPAP Concón

Químico	Cantidad [kg/día] <sup>(1)</sup>
Flúor	72
Cloro (precloración y cloración)	145
Cloruro Férrico	446
Magnafloc <sup>(2)</sup>	-
Sulfato de Aluminio	2000
Permanganato de Potasio <sup>(2)</sup>	-
Sal (ablandador)	50
Carbón Activado	600
<sup>(1)</sup> Sobre la base de la capacidad de planta indicada en la tabla 3.14. <sup>(2)</sup> La cantidad de Magnafloc y Permanganato de Potasio que se utilice responde a la presencia de parámetros físicos mencionados en la Tabla 3.1 y se realiza una medición visual del estado del agua.	

Fuente: Elaboración Propia, según datos entregados por Ingeniero en Mantenimiento de la empresa

## Análisis modo y efectos de falla

En la tabla 7.3 se observan los Modos de Falla de la bomba dosificadora de la PPAP Concón.

Tabla 7.3 - Modos de Falla Bomba dosificadora de químicos PPAP Concón

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
Falla grupo de Bombas	Falla Bomba Dosificadora	Falla Sello	Desgaste por uso	Sello gastado por roce
				Empaquetadura gastada
			Montaje incorrecto	Sello no corresponde
				Mal apriete
			Instalación de Sello dañado	Sello dañado en tránsito
				Sello Dañado en taller
		Falla Membrana Diafragma	Desgaste por uso	
	Falla Motor de Bomba	Cojinete agarrotado	Desgaste por uso	Desgaste de rodamiento
			Falta de Mantenimiento	Falta de grasa
				Lubricante no corresponde
			Cojinete mal instalado	Daño durante la instalación
				Daño en tránsito
				Instalación incorrecta
		Bobina quemada	Calentamiento Motor	Ventilación bloqueada
Válvula cerrada	Válvula trabada	Cuerpo extraño en la válvula		
		Vástago trabado	Vástago con corrosión	

Fuete: *Elaboración Propia*

Si la bomba dosificadora de químicos no cumple con las especificaciones establecidas por la Superintendencia de Servicios Sanitarios, tiene dos consecuencias:

- Riesgo para la comunidad que significa consumir agua no potable.
- Multas que pueden aplicarse a la empresa por lo señalado anteriormente.

## Tareas de Mantenimiento

Las tareas de Mantenimiento del equipo, serán seleccionadas según el tipo de falla, el momento en que se presente y los efectos que esta falla tenga en la operación de la planta. Para ello se presenta la Hoja de Información de RCM II y la Hoja de Decisión de RCM II que entregarán la información que permita determinar lo mencionado anteriormente.

## Hoja de Información RCM II

La información obtenida en el AMFE se expone en la tabla 7.4 Hoja de Información RCM II de la Bomba Dosificadora. En ella se observan los efectos según el tipo de falla que se presente.

Tabla 7.4 - Hoja de Información RCM II Bomba Dosificadora PPAP Concón

Hoja de Información RCM II © 1990 ALADON LTD	Sistema/Equipo: Dosificación de Químicos		Realizado por:	Fecha:
	Subsistema: Bombas Dosificadoras		Sofía Olivares	Noviembre 2016
Función	Falla Funcional		Revisado por:	Fecha:
	Modo de Falla		Alfonso López	Diciembre 2016
1 Inyectar el químico al Agua según las especificaciones	A No Inyecta Químico o Inyecta menor cantidad	1 Desgaste de membrana diafragma	Efecto de la Falla	
		2 Falta de mantenimiento (limpieza de tuberías)	La bomba no impulsa la cantidad de químico necesaria y puede causar multas por incumplimiento de la NCh 409.	
		3 Cuerpo extraño en la válvula	La bomba no impulsa la cantidad de químico necesaria y puede causar multas por incumplimiento de la NCh 409.	
		4 Filtración por desgaste por fatiga sello mecánico	La bomba no impulsa la cantidad de químico necesaria y puede causar multas por incumplimiento de la NCh 409.	
		5 Filtración por desgaste empaquetadura	No se inyecta la cantidad necesaria de químico y puede ocasionar multas por incumplimiento de la NCh 409, además de pérdidas de químico por filtración	
		6 Filtración por mal apriete	No se inyecta la cantidad necesaria de químico y puede ocasionar multas por incumplimiento de la NCh 409, además de pérdidas de químico por filtración	
	B No parte	1 Bobinas quemadas	No se inyecta la cantidad necesaria de químico y puede ocasionar multas por incumplimiento de la NCh 409.	
		2 Falta suministro de energía	La bomba no parte y no se inyectan químicos. Puede ocasionar multas por incumplimiento de la NCh 409.	

Fuente: Elaboración Propia

## Hoja de Decisión RCM II

La tabla 7.5 muestra las tareas a realizar, el intervalo y el encargado de realizarlas.

Tabla 7.5 - Hoja de Decisión RCM II Bomba Dosificadora PPAP Concón

HOJA DE DECISIÓN RCM II © 1990 ALADON LTD		Sistema/Equipo: Dosificación de Químicos										Realizado por:		Fecha:				
		Subsistema: Bombas Dosificadoras										Sofía Olivares		Noviembre 2016				
Referencia de Información	Evaluación de las Consecuencias			H1			H2			H3			Acción a Falta de	Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por		
	FF	FM	FM	H	S	E	O	S1	O1	N1	S2	O2					N2	S3
1	A	1	N					N	S						Realizar un cambio del diafragma de la bomba.	6 Meses	Contratista	
1	A	2	N					N	S						Aplicar producto para desincrustar químicos.	3 Meses	Contratista	
1	A	3	S	S				S							Chequear funcionamiento de las válvulas (accionar).	7 Días	Operario	
1	A	4	S	S				N	S						Realizar un cambio de Sellos mecánicos de la bomba.	6 Meses	Contratista	
1	A	5	S	S				N	S						Realizar un cambio de empaquetaduras de Sello Mecánico.	6 Meses	Contratista	
1	A	6	S	S				S							Revisar uniones para verificar apriete (Sellos).	7 Días	Operario	
1	B	1	S	S				S							Chequear la temperatura del equipo.	7 Días	Operario	
1	B	2	S	S				S							Revisar partida de Grupo Electrógeno de la Planta	7 días	Operario	

Fuente: Elaboración Propia

## Procedimiento Operativo Estándar y Plan de Mantenimiento

En la tabla 7.6 se muestra el POE de las Bombas del Sistema de Químicos de la PPAP Concón. En ella se indican las acciones que debe realizar el Operador durante el turno.

Tabla 7.6 - POE Bombas Sistema de Dosificación de Químicos PPAP Concón

<b>Procedimiento Operativo Estándar</b>
<b>Bombas Dosificadoras de Químico</b>
1.- Revisión de hoja de información del turno anterior. 2.- Chequear la cantidad de químicos utilizada y el stock y en caso de ser necesario, solicitar reponer stock de químicos. 3.- Chequear periodicamente los análisis de laboratorio para regular la dosificación de químicos. 4.- (Sólo lunes por la mañana) Chequear funcionamiento de válvulas. Notificar si hay problemas. 5.- (Sólo lunes por la mañana) Revisión de uniones para verificar apriete de sellos. Notificar si hay problemas. 6.- (Sólo lunes por la mañana) Accionar el grupo electrógeno para comprobar su buen funcionamiento. 7.- (Sólo lunes por la mañana) Chequear la temperatura de las bombas. Notificar en caso de superar por más de 5°C la temperatura ambiente para aumentar frecuencia de medición. Si llega a superar por más de 10 °, notificar para considerar el cambio del equipo. 8.- En caso de no haber respuesta, dar el aviso que corresponda para una revisión extraordinaria.

Fuente: Elaboración Propia

Las tablas 7.7 y 7.8 muestran los Planes de Mantenimiento de las Bombas del Sistema de Dosificación de Químicos de la PPAP Concón, distinguiendo los intervalos requeridos para los equipos. Estas actividades son independientes y complementarias y se realizan cada una según su intervalo. De esta forma, cuando se realizan aquellas tareas con intervalo de 6 meses, también se realizan las de intervalo de 3 meses. Estas actividades son realizadas por un Contratista.

Tabla 7.7 - Plan de Mantenimiento 3 Meses Bombas del Sistema de Dosificación de Químicos PPAP Concón

<b>Procedimiento Operativo Estándar</b>	
<b>Bombas Dosificadoras de Químico</b>	
<b>Intervalo</b>	<b>Realizado por</b>
<b>3 Meses</b>	<b>Contratista</b>
1.- Desconectar equipo que se va a inspeccionar. 2.- Aplicar desincrustador de químicos en las tuberías. 3.- Limpiar el residuo del producto 5.- Conectar el equipo, revisar funcionamiento y continuar con otro, repitiendo el procedimiento.	

*Fuente: Elaboración Propia*

Tabla 7.8 - Plan de Mantenimiento 6 Meses Bombas del Sistema de Dosificación de Químicos PPAP Concón

<b>Procedimiento Operativo Estándar</b>	
<b>Bombas Dosificadoras de Químico</b>	
<b>Intervalo</b>	<b>Realizado por</b>
<b>6 Meses</b>	<b>Contratista</b>
1.- Desconectar equipo que se va a inspeccionar. 2.- Realizar cambio de sellos mecánicos. 3.- Realizar cambio de diafragma de la bomba. aplicado. 4.- Realizar cambio en las empaquetaduras de los sellos mecánicos de las bombas. 5.- Conectar equipo, revisar funcionamiento y continuar con otro, repitiendo el procedimiento.	

*Fuente: Elaboración Propia*

## 7.2 PTAS 2 Norte (Emisario)

### Identificación del Elemento a Analizar

En la PTAS 2 Norte, se seleccionó el Sistema de Dosificación de Químicos. Este sistema se encarga del tratamiento de olores generados en la planta.

El proceso de tratamiento de olores comienza con la llegada de los gases desde las salas de rejillas y bombas y pasan por un lavado de gases, donde se aplican químicos en tres Scrubbers (Hipoclorito de Sodio y/o Soda Cáustica). Luego los gases son expulsados hacia el exterior de la planta a través de una chimenea, como se puede ver en la Figura 7.2.

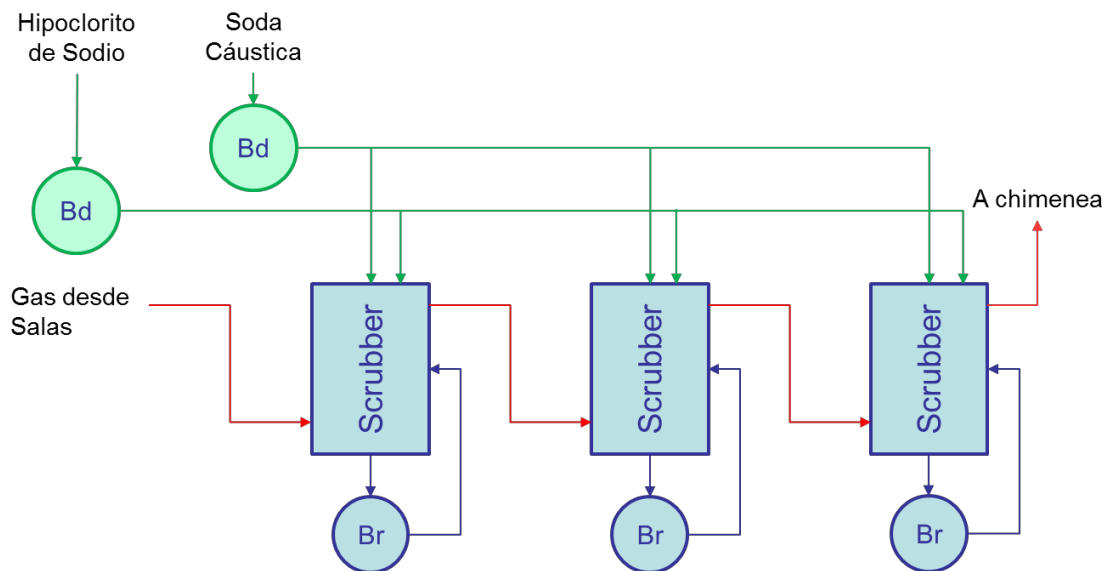


Figura 7.2 - Proceso tratamiento de olores PTAS 2 Norte. Elaboración Propia

Las fallas del sistema mencionado son registradas en el sistema SAP, donde es posible distinguir las partes del mismo y la proporción de fallas que cada uno presenta. En la tabla 7.9 se puede ver el resumen de lo mencionado y es posible visualizar que las Bombas de este sistema son las que presentan mayor porcentaje de fallas, con un 80,72% del total. Además, se observan los valores monetarios de los arreglos y cambios y el tiempo que demora en estar operativo de nuevo en caso de falla. Considerando el valor del equipo nuevo y a pesar de que el Scrubber presenta un valor mayor, se consideran las Bombas para el análisis RCM ya que el Scrubber no es reemplazado por otro, sino que se realiza una limpieza.

Tabla 7.9 - Datos de adquisición y reparación Equipos Sist. Dosificación de Químicos PTAS 2 Norte

Equipo	Porcentaje	Valor equipo nuevo [MM\$]	Valor Reparación [MM\$]	Tiempo de cambio [días]	Tiempo de reparación [días]
Bombas	80,72%	1	0,46	1	30
Scrubber	13,25%	4	1,5	Equipo fijo	30
Válvulas	6,03%	Sin información	Sin información	Sin información	Sin información

Fuente: Elaboración Propia, según datos entregados por Ingeniero en Mantenimiento de la empresa

### Determinación de las funciones del elemento

En el sistema de Dosificación de químicos se utilizan dos tipos de bombas, la Bomba Recirculadora y la Dosificadora.

Bomba Recirculadora, cuya función se relaciona directamente con el scrubber, ya que para realizar el lavado de los gases es necesario que la mezcla del químico con agua caiga en forma de lluvia para conseguir una mayor área de contacto con los gases, para esto dicha bomba debe llevar el líquido desde la parte inferior del scrubber a la parte superior.

La Bomba Dosificadora tiene como función inyectar los químicos necesarios según especificaciones al sistema de dosificación, esta inyección se realiza en el scrubber cuando este es lavado cada 15 días para reponer la mezcla

Las especificaciones de esta bomba son:

- 300 Litros de Soda Caustica
- 2500 litros Hipoclorito de sodio

### Análisis modo y efectos de falla

En la tabla 7.10 se visualiza los modos de falla de la Bomba Recirculadora y la Bomba Dosificadora.

Tabla 7.10 - Modos de Falla Bomba Dosificadora y Recirculadora de Químicos PTAS 2 Norte

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	
Falla grupo de Bombas	Falla Bomba Dosificadora	Falla Sello	Desgaste por uso	Sello gastado por roce Empaquetadura gastada	
			Montaje incorrecto	Sello no corresponde Mal apriete	
			Instalación de Sello dañado	Sello dañado en tránsito Sello Dañado en taller	
			Falla Membrana Diafragma	Desgaste por uso	
		Falla Bomba Recirculadora	Falla Sello	Desgaste por uso	Sello gastado por roce Empaquetadura gastada
				Montaje incorrecto	Sello no corresponde Mal apriete
	Instalación de Sello dañado			Sello dañado en tránsito Sello Dañado en taller	
	Falla Motor de Bomba	Cojinete agarrotado	Desgaste por uso	Desgaste de rodamiento	
			Falta de Mantenimiento	Falta de grasa Lubricante no corresponde	
			Cojinete mal instalado	Daño durante la instalación Daño en tránsito Instalación incorrecta	
				Bobinas quemadas	Calentamiento Motor Ventilación bloqueada
	Válvula cerrada	Válvula trabada	Cuerpo extraño en la válvula		
Vástago trabado			Vástago con corrosión		

Fuente: Elaboración Propia

Las consecuencias de la falla tanto de las Bombas recirculadoras como de las Dosificadoras para el proceso general, es que no se cumplen a cabalidad los procesos designados por la SISS para el tratamiento de olor. Esto genera mala relación con la comunidad cercana a la planta, por poner en riesgo la salud de los vecinos, por los gases emanados de la planta.

La multa aplicada para estos casos es el No cobro del tratamiento del agua a la comunidad afectada.

### Tareas de Mantenimiento

Las tareas de Mantenimiento del equipo serán seleccionadas según el tipo de falla, el momento en que se presente y los efectos que esta falla tenga en la operación de la planta. Para ello se presenta la Hoja de Información de RCM II y la Hoja de Decisión de RCM II que entregarán la información que permita determinar lo mencionado anteriormente.

## Hoja de Información RCM II

La información obtenida en el AMFE se expone en la tabla 7.11 Hoja de Información RCM II de la Bomba Recirculadora y la 7.12 Hoja de Información de RCM II de la Bomba Dosificador. En ella se observan los efectos según el tipo de falla que se presente.

Tabla 7.11 - Hoja de Información Bomba Recirculadora Sistema de Químicos PTAS 2 Norte

Hoja de Información RCM II © 1990 ALADON LTD	Sistema/Equipo: Dosificación de Químicos		Realizado por:	Fecha:
	Subsistema: Bombas Recirculadoras		Sofía Olivares	Noviembre 2016
Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Revisado por:	Fecha:
2 Mover mezcla de Scrubber desde Parte inferior a parte superior	A No Recircula o Recircula menor cantidad	1 Taponamiento de tuberías por residuos	Alfonso López	Efecto de la Falla
		2 Filtración por desgaste de sello mecánico		
		3 Filtración por mal apriete		
	B Detención del equipo o no parte	1 Bobinas quemadas		
		2 Falta suministro de energía		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7.12 - Hoja de Información RCM II Bomba Dosificadora Sistema de Químicos PTAS 2 Norte

Hoja de Información RCM II © 1990 ALADON LTD	<b>Sistema/Equipo:</b> Dosificación de Químicos		<b>Realizado por:</b> Sofía Olivares	<b>Fecha:</b> Noviembre 2016
	<b>Subsistema:</b> Bombas Dosificadoras		<b>Revisado por:</b> Alfonso López	<b>Fecha:</b> Diciembre 2016
Función 3 Inyectar el químico a Scrubber según las especificaciones	Falla Funcional		Efecto de la Falla	
	A	No Inyecta Químico o Inyecta menor cantidad	1 Desgaste de membrana diafragma	La bomba no impulsa la cantidad de químico necesaria y puede causar multas por incumplimiento de la letra b) del artículo 11 de la Ley 18902
			2 Falta de mantenimiento (limpieza de tuberías)	La bomba no impulsa la cantidad de químico necesaria y puede causar multas por incumplimiento de la letra b) del artículo 11 de la Ley 18902
			3 Cuerpo extraño en la válvula	La bomba no impulsa la cantidad de químico necesaria y puede causar multas por incumplimiento de la letra b) del artículo 11 de la Ley 18902
			4 Filtración por desgaste por fatiga sello mecánico	No se inyecta la cantidad necesaria de químico y puede causar multas por incumplimiento de la letra b) del artículo 11 de la Ley 18902, además de pérdidas de químico por filtración
			5 Filtración por desgaste empaquetadura	No se inyecta la cantidad necesaria de químico y puede causar multas por incumplimiento de la letra b) del artículo 11 de la Ley 18902, además de pérdidas de químico por filtración
			6 Filtración por mal apriete	No se inyecta la cantidad necesaria de químico y puede causar multas por incumplimiento de la letra b) del artículo 11 de la Ley 18902, además de pérdidas de químico por filtración
	B	Defección del equipo o no parte	1 Bobinas quemadas	La bomba no parte y no se inyectan químicos. Puede causar multas por incumplimiento de la letra b) del artículo 11 de la Ley 18902
			2 Falta suministro de energía	La bomba no parte y no se inyectan químicos. Puede causar multas por incumplimiento de la letra b) del artículo 11 de la Ley 18902

Fuente: Elaboración Propia

## Hoja de Decisión RCM II

La tabla 7.13 muestra las tareas a realizar, el intervalo y el encargado de realizarlas.

Tabla 7.13 - Hoja de Decisión RCM II Bomba Recirculadora y Dosificadora Sistema de Químicos PTAS 2 Norte

HOJA DE DECISIÓN RCM II © 1990 ALADON LTD		Sistema/Equipo: Dosificación de Químicos										Realizado por: Sofía Olivares		Fecha: Noviembre 2016	
		Subsistema: Bombas Recirculadoras y Dosificadoras										Revisado por: Alfonso López		Fecha: Diciembre 2016	
		Referencia de Información	Evaluación de las Consecuencias			H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a Falta de				Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
H	S		E	O	H4				H5	S4					
2	A	1	S	N	S								Aplicar producto para desincrustar químicos.	3 Meses	Contratista
2	A	2	S	S		N	S						Realizar un cambio de Sellos mecánicos de la bomba.	6 Meses	Contratista
2	A	3	S	S	S								Revisar apriete de sellos mecánicos	7 días	Operario
2	B	1	S	S	S								Chequear la temperatura del equipo.	3 Meses	Operario
2	B	2	S	S	S								Revisar partida de Grupo Electrógeno de la Planta	7 días	Operario
3	A	1	N			N	S						Realizar un cambio del diafragma de la bomba.	6 Meses	Contratista
3	A	2	S	N	S								Aplicar producto para desincrustar químicos.	3 Meses	Contratista
3	A	3	S	S	S								Chequear funcionamiento de las válvulas (accionar).	7 días	Operario
3	A	4	S	S	S								Realizar un cambio de Sellos mecánicos de la bomba.	6 Meses	Contratista
3	A	5	S	S	S								Cambiar empaquetaduras del sello mecánico	3 Meses	Contratista
3	A	6	S	S	S								Revisar apriete de sellos mecánicos	7 días	Operario
3	B	1	S	S	S								Chequear la temperatura del equipo.	7 días	Operario
3	B	2	S	S	S								Revisar partida de Grupo Electrógeno de la Planta	7 días	Operario

Fuente: Elaboración Propia

## Procedimiento Operativo Estándar y Plan de Mantenimiento

En la tabla 7.14 se muestra el POE Estándar de las Bombas del Sistema de Químicos de la PPAP Concón. En ella se indican las acciones que debe realizar el Operador durante el turno.

*Tabla 7.14 - POE Bombas Sistema de Químicos 2 Norte*

<b>Procedimiento Operativo Estándar</b>
<b>Bombas Sistema de Químicos</b>
1.- Realizar una inspección visual de las bombas recirculadoras y dosificadoras. 2.- (Sólo lunes por la mañana) Chequear apriete de sellos mecanicos de ambos tipos de bomba. 3.- (Sólo lunes por la mañana) Chequear el funcionamiento de las válvulas (accionarlas) 4.- (Sólo lunes por la mañana) Accionar el grupo electrógeno para comprobar su buen funcionamiento. 5.- (Sólo lunes por la mañana) Chequear la temperatura de las bombas. Notificar en caso de superar por más de 5°C la temperatura ambiente para aumentar frecuencia de medición. Si llega a superar por más de 10°, notificar para considerar el cambio del equipo. 6.- En caso de no haber respuesta, dar el aviso que corresponda para una revisión extraordinaria.

*Fuente: Elaboración Propia*

Las tablas 7.15 y 7.16 muestran los Planes de Mantenimiento de las Bombas del Sistema de Dosificación de Químicos de la PPAP Concón, distinguiendo los intervalos requeridos para los equipos. Estas actividades son independientes y complementarias y se realizan cada una según su intervalo. De esta forma, cuando se realizan aquellas tareas con intervalo de 6 meses, también se realizan las de intervalo de 3 meses. Estas actividades son realizadas por un Contratista.

Tabla 7.15 - Plan de Mantenimiento 3 Meses Bombas del Sistema de Dosificación de Químicos PTAS 2 Norte

<b>Procedimiento Operativo Estándar</b>	
<b>Bombas Sistema de Químicos</b>	
<b>Intervalo</b>	<b>Realizado por</b>
<b>3 Meses</b>	<b>Contratista</b>
1.- Desconectar equipo que se va a inspeccionar. 2.- Aplicar desincrustador de químicos en las tuberías. 3.- Limpiar el residuo del producto aplicado. 4.- Realizar cambio en las empaquetaduras de los sellos mecánicos de las bombas. 5.- Conectar el equipo, revisar funcionamiento y continuar con otro, repitiendo el procedimiento.	

*Fuente: Elaboración Propia*

Tabla 7.16 - Plan de Mantenimiento 6 Meses Bombas del Sistema de Dosificación de Químicos PTAS 2 Norte

<b>Procedimiento Operativo Estándar</b>	
<b>Bombas Sistema de Químicos</b>	
<b>Intervalo</b>	<b>Realizado por</b>
<b>6 Meses</b>	<b>Contratista</b>
1.- Detener el equipo que va a ser inspeccionado. 2.- Realizar cambio de los sellos mecánicos de la bomba. 3.- Realizar cambio del diafragma. 4.- Encender el equipo inspeccionado y continuar con otro, repitiendo los mismos pasos.	

*Fuente: Elaboración Propia*

### 7.3 PTAS Placilla (LA)

#### Identificación del Elemento a Analizar

En la PTAS Placilla, se seleccionaron los aireadores de la laguna de aireación. Este equipo oxigena el AS de la laguna, para facilitar la producción de bacterias aeróbicas que descomponen las sustancias orgánicas presentes. En el caso de esta planta, es el sistema que presenta mayor cantidad de fallas y al mismo tiempo, influye más en las consecuencias directas e indirectas.

En la figura 7.3 se observa el proceso general de la laguna de aireación. El AS ingresa a la laguna con aireadores y en ella se adiciona oxígeno para favorecer el proceso biológico. El agua es mantenida en la laguna el mayor tiempo posible para luego seguir el proceso en la laguna de sedimentación.

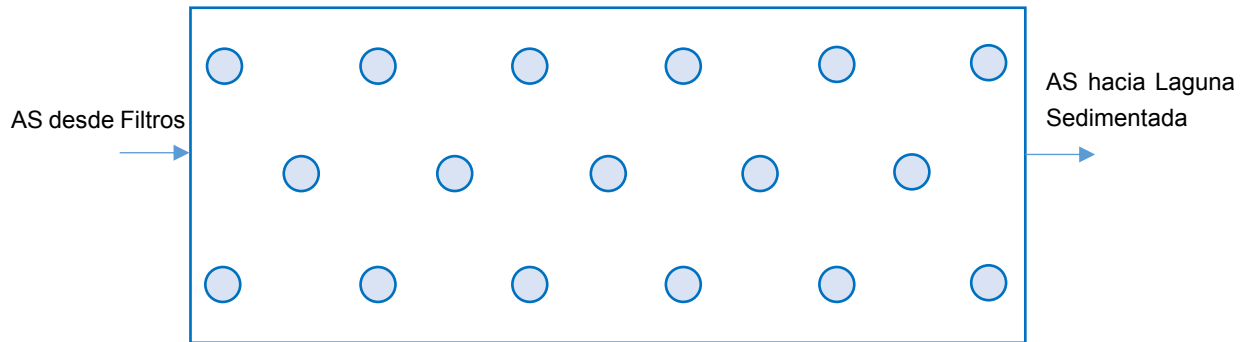


Figura 7.3 - Proceso Aireación de AS PTAS (LA) Placilla. Elaboración Propia

Los avisos de SAP indican que el 57,36% de las fallas se presenta en los aireadores y el análisis de efectos de las fallas (AHP) indica que es el equipo que afecta de mayor manera en la aplicación de multas hacia la empresa, ya que de la cantidad de oxígeno que se agregue al AS es la calidad del Agua tratada que vierten al estero. En la tabla 7.17 se observan los datos de adquisición y reparación del equipo.

Tabla 7.17 - Datos de adquisición y reparación Aireadores PTAS (LA) Placilla

Equipo	Porcentaje	Valor equipo nuevo [MM\$]	Valor Reparación [MM\$]	Tiempo de cambio [días]	Tiempo de reparación [días]
Aireador	57,36%	5	1,2	2	20

Fuente: Elaboración Propia, según datos entregados por Ingeniero en Mantenimiento de la empresa

## Determinación de las funciones del elemento

El aireador es encargado de entregar agitación mecánica al AS de la laguna, para que los sólidos suspendidos no se depositen en el fondo de la piscina; de esta forma, al tener un gran contacto los lodos con el agua a depurar, el proceso es más eficiente. Además, facilita el hábitat de las bacterias aeróbicas, que descomponen las sustancias orgánicas.

## Análisis modo y efectos de falla

En la tabla 7.18 se visualizan los modos de falla y efecto de los aireadores de la planta.

Tabla 7.18 - Modos de Falla Aireador PTAS (LA) Placilla

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6
Falla Oxigenación de Agua Servida	Falla Aireador	Falla Motor	Cojinete agarrotado	Desgaste por uso	Desgaste de rodamiento
				Falta de Mantenimiento	Falta de grasa
					Lubricante no corresponde
			Cojinete mal instalado	Daño durante la instalación	
				Daño en tránsito	
				Instalación incorrecta	
			Bobinas quemadas	Calentamiento Motor	Ventilación bloqueada
		Falla Hélice	Hélice trabada	Residuos acumulados	
		Falla Conducto	Deterioro Eje	Residuos acumulados	
			Deterioro Camisa	Residuos acumulados	
Sobrecarga	Residuos acumulados				

Fuente: Elaboración Propia

Si falla uno de los aireadores de la Laguna de Aireación, disminuye los kW/m<sup>3</sup> ideales para el tratamiento de las Aguas Servidas, provocando una menor calidad del producto final, es decir, un agua tratada con posibles parámetros por sobre la norma. Esto podría ocasionar multas por contaminar las aguas fluviales y no cumplir con el DS 90.

## Tareas de Mantenimiento

Las tareas de Mantenimiento del equipo, serán seleccionadas según el tipo de falla, el momento en que se presente y los efectos que esta falla tenga en la operación de la planta.

Para ello se presenta la Hoja de Información de RCM II y la Hoja de Decisión de RCM II que entregarán la información que permita determinar lo mencionado anteriormente.

### Hoja de Información RCM II

La información obtenida en el AMFE se expone en la tabla 7.19 Hoja de Información RCM II de los Aireadores. En ella se observan los efectos según el tipo de falla que se presente.

Tabla 7.19 - Hoja de Información RCM II de Aireadores PTAS (LA) Placilla

Hoja de Información RCM II © 1990 ALA DON LTD	Sistema/Equipo: Laguna de Aireación		Realizado por: Sofía Olivares	Fecha: Noviembre 2016	
	Subsistema: Aireadores				Revisado por: Alfonso López
4 Función Oxigenación de Aguas Servidas	Falla Funcional A) Funcionamiento defectuoso del equipo	Modo de Falla	Efecto de la Falla		
		1 Aireador con sobrecarga.	No se realiza el proceso biológico como está estipulado y puede provocar multas por incumplimiento de la letra b) del artículo 11 de la ley 18902 y el Decreto Supremo N° 90		
		2 Hélice trabada por residuos acumulados.	No se realiza el proceso biológico como está estipulado y puede provocar multas por incumplimiento de la letra b) del artículo 11 de la ley 18902 y el Decreto Supremo N° 90		
		3 Eje dañado por residuos acumulados.	No se realiza el proceso biológico como está estipulado y puede provocar multas por incumplimiento de la letra b) del artículo 11 de la ley 18902 y el Decreto Supremo N° 90		
	B) Detención del equipo o no parte	4 Ventilación obstruida.	No se realiza el proceso biológico como está estipulado y puede provocar multas por incumplimiento de la letra b) del artículo 11 de la ley 18902 y el Decreto Supremo N° 90		
		1 Bobinas quemadas.	No se realiza el proceso biológico como está estipulado y puede provocar multas por incumplimiento de la letra b) del artículo 11 de la ley 18902 y el Decreto Supremo N° 90		
		2 Falta suministro de energía.	No se realiza el proceso biológico como está estipulado y puede provocar multas por incumplimiento de la letra b) del artículo 11 de la ley 18902 y el Decreto Supremo N° 90		

Fuente: Elaboración Propia

## Hoja de Decisión RCM II

La tabla 7.20 muestra las tareas a realizar, el intervalo y el encargado de realizarlas.

Tabla 7.20 - Hoja de decisión RCM II Aireadores PTAS Placilla

HOJA DE DECISIÓN RCM II © 1990 A LADON LTD		Sistema/Equipo: Laguna de Aireación										Realizado por: Sofía Olivares		Fecha: Noviembre 2016				
		Subsistema: Aireadores										Revisado por: Alfonso López		Fecha: Diciembre 2016				
		Referencia de Información		Evaluación de las Consecuencias			H1 S1 O1 N1		H2 S2 O2 N2		H3 S3 O3 N3		Acción a Falta de		Tarea Propuesta		Intervalo Inicial	
F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4									
4	A	1	N				S							Realizar limpieza de residuos del Aireador en la laguna.	15 días	Técnico		
4	A	2	S	N	S		S							Realizar limpieza de residuos del Aireador en la laguna.	15 días	Técnico		
4	A	3	S	N	S		S							Realizar limpieza de residuos del Aireador en la laguna.	15 días	Técnico		
4	A	4	N				S							Realizar limpieza de residuos del Aireador en la laguna.	15 días	Técnico		
4	B	1	S	S			S							Chequear la temperatura del equipo.	7 días	Operario		
4	B	2	S	S			S							Revisar partida de Grupo Electrógeno de la Planta	7 días	Operario		

Fuente: Elaboración Propia

## Procedimiento Operativo Estándar y Plan de Mantenimiento

En la tabla 7.21 se muestra el POE de los Aireadores de la PTAS Placilla. En ella se indican las acciones que debe realizar el Operador en su turno.

*Tabla 7.21 - POE Aireadores PTAS Placilla*

<b>Procedimiento Operativo Estándar</b>
<b>Aireadores</b>
1.- Realizar una revisión visual del funcionamiento de los aireadores.
2.- En caso de haber problemas con uno o más equipos, dar aviso que corresponda para una revisión extraordinaria.
3.- (Sólo lunes por la mañana) Accionar el grupo electrógeno para comprobar su buen funcionamiento.
4.- (Sólo lunes por la mañana) Chequear la temperatura de las bombas. Notificar en caso de superar por más de 5°C la temperatura ambiente para aumentar frecuencia de medición. Si llega a superar por más de 10 °, notificar para considerar el cambio del equipo.
5.- En caso de no haber respuesta, dar el aviso que corresponda para una revisión extraordinaria.

*Fuente: Elaboración Propia*

Las tablas 7.22 y 7.23 muestran los Planes de Mantenimiento de los Aireadores de la PTAS Placilla, distinguiendo los intervalos requeridos para los equipos. Estas actividades son independientes y complementarias y se realizan cada una según su intervalo. De esta forma, cuando se realizan aquellas tareas con intervalo de 6 meses, también se realizan las de intervalo de 3 meses. Estas actividades son realizadas por un Contratista.

Tabla 7.22 - Plan de Mantenimiento Semanal Aireador PTAS Placilla

<b>Procedimiento Operativo Estándar</b>	
<b>Aireadores</b>	
<b>Intervalo</b>	<b>Realizado por</b>
<b>Semanal</b>	<b>Contratista</b>
1.- Detener el equipo que va a ser inspeccionado, luego: 2.- Con ayuda del bote disponible, levantar el eje del equipo, cuidando no mojar el componente eléctrico. 3.- Retirar los residuos acumulados en equipo. 4.- Encender el equipo inspeccionado y continuar con otro, repitiendo los mismos pasos.	

*Fuente: Elaboración Propia*

## 7.4 Reporte de Defectos

Para el reporte de defectos o fallas, se utiliza una planilla que es completada por el operario que observe el problema. La tabla 7.24 muestra el detalle de la planilla.

Tabla 7.23 - Tarjeta de Trabajo para reporte de defectos o fallas

TARJETA DE TRABAJO	N°	SUB GERENCIA		FECHA	
			SG Mantenimiento		(1)
TIPO DE PLANTA		DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA			
(2)		(3)			
PEDIDO DE TRABAJO	A (Supervisor)		TRABAJO PEDIDO POR		
	(4)		(5)		
Falla Potencial		(6)			
Falla Funcional					
Programa de Mantenimiento					
INSTRUCCIÓN DE TRABAJO	ASIGNADO A			FECHA	
	(7)			(8)	
Aprobado por	Trabajo Concluído		FECHA	TIEMPO ESTIMADO	
(9)	SI	(10) NO	(10)	(11)	(12)

Fuente: Elaboración Propia

La planilla la completan tres personas diferentes: Operario (1 a 6), Ejecutivo Mesa Central que ingresa información a SAP (7 y 8) y Supervisor (9 a 12) y se completa de la siguiente forma:

- (1) Fecha de solicitud de revisión
- (2) Tipo de Planta (AS/AP)
- (3) Descripción de la Planta (Ejemplo: PPAP Concón)
- (4) Supervisor de la Planta
- (5) Nombre del Operario que solicita revisión
- (6) Descripción (Marcar Falla Potencial, Falla Funcional o Programa de Mantenimiento)
- (7) Personal asignado para el trabajo (Interno o Externo; Especificar detalles en el espacio disponible)
- (8) Fecha de asignación del trabajo
- (9) Supervisor que revisa el trabajo realizado
- (10) Seleccionar si el trabajo se realizó en su totalidad o no.
- (11) Fecha de revisión del trabajo.
- (12) Tiempo estimado desde que se realizó la solicitud hasta su revisión.

## 8. Análisis de Costos

Dentro del Análisis de Costos involucrados al proyecto, se considera aquellos desembolsos en los que tendrá que incurrir la empresa para llevar a cabo las actividades necesarias para la implementación del plan propuesto. Esto se contrastará con el dinero que actualmente destinan a los equipos seleccionados y según ello se evaluará la factibilidad económica de la propuesta. El análisis sólo considerará los equipos seleccionados como críticos de las plantas seleccionadas, de esta forma, se consideran los siguientes equipos:

- PPAP Concón: Sistema de dosificación de químicos.
- PTAS 2 Norte: Sistema de dosificación de químicos.
- PTAS Placilla: Aireadores.

### 8.1 Situación Actual

Actualmente, se realiza una revisión general una vez al mes a las plantas de la empresa. En la tabla 8.1 se muestran los valores correspondientes a una revisión, la cantidad de revisiones que se realizan al año (12 revisiones) y el valor total de los equipos de las plantas seleccionadas.

*Tabla 8.1 - Revisiones Programadas al año actuales*

<b>Revisiones Programadas Anuales Actual</b>					
<b>Planta</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Cantidad de Equipos</b>	<b>Revisiones Al año</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>
<b>Concón</b>	\$ 101.800	8	12	96	\$ 9.772.800
<b>2 Norte</b>	\$ 107.000	5	12	60	\$ 6.420.000
<b>Placilla</b>	\$ 102.000	17	12	204	\$ 20.808.000
					<b>\$ 37.000.800</b>

*Fuente: Elaboración Propia, según datos entregados por Ingeniero en Mantenimiento de la empresa*

El informe de los indicadores de Mantenimiento de ESVAL (Anexo F: Gastos de Mantenimiento) indica que el mantenimiento preventivo (revisiones programadas) representa el 38% del presupuesto total. Considerando este valor, es posible calcular lo que se gasta en Mantenimiento Correctivo con un cálculo simple. En la tabla 8.2 se muestra este valor.

Tabla 8.2 - Revisiones Correctivas al año actuales

<b>Revisiones Correctivas Al año Actual</b>		
		<b>\$ 60.369.726</b>

Fuente: Elaboración Propia, según datos entregados por Ingeniero en Mantenimiento de la empresa

De esta forma, se tiene que el presupuesto total para el mantenimiento de los equipos críticos de las plantas, es de \$97.370.526.-

El presupuesto anual de la Sub Gerencia de Mantenimiento, considerando todas las plantas y sus equipos, se mantiene y sólo se aumenta en casos excepcionales que justifiquen la modificación. Si la Sub Gerencia gasta menos cantidad de dinero en sus gestiones, el presupuesto del año siguiente se verá disminuido. Por lo tanto, se utilizará el mismo valor para la propuesta.

## 8.2 Situación Propuesta

Para la formulación de la propuesta, se establece el intervalo de tiempo, en meses, en que se realizarían las revisiones por equipo realizadas por el contratista. Estos intervalos están entre 0.5 y 6, dependiendo de la falla que se busque prevenir. Las revisiones que realizan los operarios de las plantas, se consideran parte de las labores asociadas a su cargo, por lo que no significan un costo extra para la empresa.

En cada planta, se consideran los intervalos y las tareas descritas en las respectivas hojas de decisión (Capítulo 7). Se realiza el cálculo de la cantidad de revisiones al año, considerando el cociente entre los 12 meses del año y el valor de cada intervalo.

Para el caso de la PPAP de Concón, se toman los intervalos indicados en la Tabla 7.5 - Hoja de Decisión RCM II Bomba Dosificadora PPAP Concón. La tabla 8.3 muestra la cantidad de revisiones al año de esta planta

Tabla 8.3 – Revisiones al año PPAP Concón

Concón	Intervalo (meses)	Revisiones Al Año
	6	2
	3	4
	6	2
	6	2
<b>Total</b>		<b>10</b>

Fuente: Elaboración Propia

Para la PTAS 2 Norte, se toman los intervalos indicados en la Tabla 7.13 - Hoja de Decisión RCM II Bomba Recirculadora y Dosificadora Sistema de Químicos PTAS 2 Norte. La tabla 8.4 muestra la cantidad de revisiones al año de esta planta, suprimiendo las tareas duplicadas.

Tabla 8.4 - Revisiones al año Propuestas PTAS 2 Norte

Dos Norte	Intervalo (meses)	Revisiones Al Año
	3	4
	6	2
	6	2
	3	4
	6	2
	3	4
<b>Total</b>		<b>18</b>

Fuente: Elaboración Propia

Para la PTAS Placilla, se toman los intervalos indicados en la Tabla 7.20 - Hoja de decisión RCM II Aireadores PTAS Placilla. La tabla 8.5 muestra la cantidad de revisiones al año de esta planta, suprimiendo las tareas duplicadas.

Tabla 8.5 – Revisiones al año Propuestas PTAS Placilla

Placilla	Intervalo (meses)	Revisiones Al Año
	0,5	24
<b>Total</b>		<b>24</b>

Fuente: Elaboración Propia

Una vez fijada la cantidad de revisiones, se considera el total de equipos por planta para llegar a un total de revisiones. Finalmente, cada revisión tiene un valor unitario, con el cual se puede obtener el valor anual de las revisiones. Esta información se ve reflejada en la tabla 8.6.

Tabla 8.6 - Revisiones programadas al año propuestas

Revisiones Programadas Anuales Propuesta					
Planta	Valor Unitario	Cantidad de Equipos	Revisiones Al Año	Total revisiones	Total
Concón	\$ 101.800	8	10	80	\$ 8.144.000
2 Norte	\$ 107.000	5	18	90	\$ 9.630.000
Placilla	\$ 102.000	17	24	408	\$ 41.616.000
					\$ 59.390.000

Fuente: Elaboración Propia

En la PPAP Concón se proponen 10 revisiones al año, para cada equipo. La cantidad de equipos a revisar son 8, por ende, el total de revisiones anual en la PPAP Concón será de 80. El valor unitario es de \$101.800.- por lo que el valor total en revisiones de la PPAP Concón será de \$8.144.000.-

En la PTAS 2 Norte se proponen 18 revisiones al año, para cada equipo. La cantidad de equipos a revisar son 5, por ende, el total de revisiones anual en la PTAS 2 Norte será de 90. El valor unitario es de \$107.000.- por lo que el valor total en revisiones de la PPAP Concón será de \$9.630.000.-

Por último, en la PTAS Placilla se proponen 24 revisiones al año, para cada equipo. La cantidad de equipos a revisar son 17, por ende, el total de revisiones anual en la PTAS Placilla será de 408. El valor unitario es de \$102.000.- por lo que el valor total en revisiones de la PTAS Placilla será de \$41.616.000.-

Como se mencionó anteriormente, el presupuesto que tiene la Sub Gerencia de Mantenimiento de ESVAL es fijo. Sobre esta base, podemos decir que la propuesta considera un 61% del presupuesto en revisiones programadas el que corresponde a \$59.390.000.-.

El 39% restante del presupuesto es el que se destinaría a mantenimiento correctivo, es decir, \$37.980.526.- De esta forma, al aumentar las revisiones programadas se puede tener un mayor control respecto al presupuesto.



Complementario a las revisiones mencionadas, y por única vez, el encargado de cada planta, además del supervisor del área, deberán asistir a capacitación CIDES, sobre Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, para que puedan llevar a cabo la propuesta. En la tabla 8.7 se puede ver el valor de dicha capacitación para las 4 personas mencionadas. Estos valores se encuentran en el Anexo G: Capacitación RCM CIDES Corpotraining.

*Tabla 8.7 - Capacitación encargados de plantas y supervisor*



<b>Capacitación Encargados de Plantas + Supervisor</b>			
	Valor Unitario	Cantidad	Total
<b>CIDES</b>	\$ 520.000	4	\$ 2.080.000
			\$ 2.080.000

*Fuente: Elaboración Propia*

Los valores de la propuesta son considerando sólo los equipos seleccionados de las plantas mencionadas, por lo que, tanto para el resto de los equipos de estas plantas como para las otras plantas de la compañía, se debe realizar una propuesta diferente, considerando los costos asociados a ellos.

En la Tabla 8.8 se puede apreciar la variación de los valores de mantenimiento entre Situación actual y Situación propuesta. En el caso de mantenimiento preventivo se ve un aumento en el valor, lo que se representa con una flecha verde , y en el caso de mantenimiento correctivo se ve la disminución del valor, representado por una flecha roja . Manteniendo fijo el valor total debido a la política de ESVAL.

*Tabla 8.8 - Comparación Situación actual y propuesta*

	Situación Actual		Situación Propuesta		
	Valor	%	Valor	%	
Mant. Preventivo	\$ 37.000.800	38%	\$ 59.390.000	61%	
Mant. Correctivo	\$ 60.369.726	62%	\$ 37.980.526	39%	
<b>Total</b>	<b>\$ 97.370.526</b>	<b>100%</b>	<b>\$ 97.370.526</b>	<b>100%</b>	

*Fuente: Elaboración Propia*

## 9. Conclusiones y Recomendaciones

En esta Memoria de Título se propuso un Modelo de Gestión de Activos en el Área de Mantenimiento de ESVAL S.A., que permitiría aumentar el nivel de confiabilidad y reducir los costos asociados de equipos en Plantas de Producción de Agua Potable y Plantas de Tratamiento de Agua Servida. Para lograr establecer la propuesta, se trabajó con los equipos críticos de las plantas que presentaban mayor cantidad de fallas y se definió el tipo de mantenimiento para los mismos.

Con esta propuesta, se logra mantener un manejo en el funcionamiento de los equipos críticos de las plantas para dar un mejor servicio y reducir las multas que se aplican a la empresa por incumplimientos de Normas y Leyes mencionadas en el capítulo 2.

Los equipos seleccionados permiten, por un lado, mantener los niveles de químicos controlados en el AP y contribuir, de la mejor manera posible, a la eficacia del proceso biológico de la LA, lo que evitaría multas millonarias a la empresa. Por otro lado, se mantendría el control de las emanaciones de gases y contaminantes en lo que respecta a olfatometría, en el caso de PTAS 2 Norte.

Además de lo anterior, la aplicación de la propuesta influiría en el desempeño de la planta, ya que mejoraría por la reducción de fallas no anticipadas con consecuencias severas, debido al manejo de fallas en su etapa inicial (falla potencial) facilitando la gestión de estas. Esto conlleva a detenciones del equipo más cortas aumentando la disponibilidad y la confiabilidad de los mismos.

Por otro lado, la calidad del producto de ESVAL (AP que se distribuye a la población y el Agua Tratada que se produce en las PTAS) se mantiene dentro de las exigencias de la Normativa Chilena porque se mantiene el proceso controlado en lo que respecta parámetros físicos, químicos, biológicos e inorgánicos, según sea el caso.

Finalmente, luego de haber realizado el proyecto, es recomendable que la empresa considere la posibilidad de realizar un Plan de Gestión de Activos al menos a las plantas más críticas para que logre aumentar los valores de confiabilidad actuales y realice sus procesos con mayor seguridad, con respecto al estado de sus equipos.

## Anexos

### Anexo A: Análisis AHP Agua Potable

#### Matriz de Comparación por Pares (Criterios)

<b>Criterios</b>	<b>Parám. Físicos</b>	<b>Parám. Orgánicos</b>	<b>Parám. Inorgánicos</b>	<b>Cortes AP</b>
<b>Parámetros Físicos</b>	1	0,17	0,333	0,50
<b>Parámetros Orgánicos</b>	6	1	4	3
<b>Parámetros Inorgánicos</b>	3	0,25	1	3
<b>Cortes</b>	2	0,33	0,33	1
<b>Suma</b>	<b>12,0</b>	<b>1,8</b>	<b>5,7</b>	<b>7,5</b>

#### Matriz Normalizada

<b>Criterios</b>	<b>Parám. Físicos</b>	<b>Parám. Orgánicos</b>	<b>Parám. Inorgánicos</b>	<b>Cortes AP</b>	<b>Promedio</b>
<b>Parám. Físicos</b>	0,0833	0,0952	0,0588	0,50	<b>0,076</b>
<b>Parám. Orgánicos</b>	0,5000	0,5714	0,7059	3	<b>0,544</b>
<b>Parám. Inorgánicos</b>	0,2500	0,1429	0,1765	3	<b>0,242</b>
<b>Cortes</b>	0,1667	0,1905	0,0588	1	<b>0,137</b>

#### Consistencia de Criterios

<b>N</b>	4
<b>RI</b>	0,9
<b>Lamda</b>	4,27
<b>CI</b>	0,09
<b>CR</b>	0,0992

El índice de Consistencia (o CR, de Consistency Ratio), se considera consistente cuando su valor es menor a 0,1. En este caso, el índice es 0,0992 y se considera que los criterios planteados para AP son consistentes.

## Matriz de Comparación por Pares de Equipos (Parámetros Físicos)

Equipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1. Bomba	1,00	0,25	0,50	0,33	0,50	0,20	0,50	0,50	0,50	2,00	2,00	2,00	2,00	0,33	3,00
2. Dosificación Qcos	4,00	1,00	3,00	3,00	3,00	0,25	4,00	0,50	4,00	6,00	5,00	5,00	3,00	2,00	5,00
3. Válvula	2,00	0,33	1,00	0,25	0,33	0,20	0,33	0,33	0,33	3,00	3,00	3,00	0,50	0,33	4,00
4. Tableros	3,00	0,33	4,00	1,00	2,00	0,25	0,50	0,50	0,50	3,00	5,00	3,00	3,00	0,50	5,00
5. Sensores	2,00	0,33	3,00	0,50	1,00	0,20	0,50	0,50	0,50	3,00	3,00	3,00	4,00	3,00	4,00
6. Generador/ Energía	5,00	4,00	5,00	4,00	5,00	1,00	5,00	5,00	5,00	6,00	6,00	6,00	5,00	4,00	7,00
7. Filtración	2,00	0,25	3,00	2,00	2,00	0,20	1,00	4,00	0,50	4,00	4,00	3,00	2,00	0,33	4,00
8. Captación AP	2,00	2,00	3,00	2,00	2,00	0,20	0,25	1,00	0,50	3,00	3,00	3,00	2,00	0,33	4,00
9. Floculación	2,00	0,25	3,00	2,00	2,00	0,20	2,00	2,00	1,00	4,00	4,00	3,00	2,00	0,50	5,00
10. Conducciones	0,50	0,17	0,33	0,33	0,33	0,17	0,25	0,33	0,25	1,00	2,00	0,50	0,25	0,33	2,00
11. Aireador	0,50	0,20	0,33	0,20	0,33	0,17	0,25	0,33	0,25	0,50	1,00	0,50	0,33	0,25	2,00
12. Reja	0,50	0,20	0,33	0,33	0,33	0,17	0,33	0,33	0,33	2,00	2,00	1,00	0,50	0,33	2,00
13. Motores	0,50	0,33	2,00	0,33	0,25	0,20	0,50	0,50	0,50	4,00	3,00	2,00	1,00	0,33	2,00
14. Variador Frec.	3,00	0,50	3,00	2,00	0,33	0,25	3,00	3,00	2,00	3,00	4,00	3,00	3,00	1,00	5,00
15. Ventilación	0,33	0,20	0,25	0,20	0,25	0,14	0,25	0,25	0,20	0,50	0,50	0,50	0,50	0,20	1,00
<b>Total</b>	<b>28,33</b>	<b>10,35</b>	<b>31,75</b>	<b>18,48</b>	<b>19,67</b>	<b>3,79</b>	<b>18,67</b>	<b>19,08</b>	<b>16,37</b>	<b>45,00</b>	<b>47,50</b>	<b>38,50</b>	<b>29,08</b>	<b>13,78</b>	<b>55,00</b>

## Matriz Normalizada (Parámetros Físicos)

Equipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Prom.
<b>1. Bomba</b>	0,035	0,024	0,016	0,018	0,025	0,053	0,027	0,026	0,031	0,044	0,042	0,052	0,069	0,024	0,055	<b>0,036</b>
<b>2. Dosificación Qcos</b>	0,141	0,097	0,094	0,162	0,153	0,066	0,214	0,026	0,244	0,133	0,105	0,130	0,103	0,145	0,091	<b>0,127</b>
<b>3. Válvula</b>	0,071	0,032	0,031	0,014	0,017	0,053	0,018	0,017	0,020	0,067	0,063	0,078	0,017	0,024	0,073	<b>0,040</b>
<b>4. Tableros</b>	0,106	0,032	0,126	0,054	0,102	0,066	0,027	0,026	0,031	0,067	0,105	0,078	0,103	0,036	0,091	<b>0,070</b>
<b>5. Sensores</b>	0,071	0,032	0,094	0,027	0,051	0,053	0,027	0,026	0,031	0,067	0,063	0,078	0,138	0,218	0,073	<b>0,070</b>
<b>6. Generador/ Energía</b>	0,176	0,386	0,157	0,216	0,254	0,264	0,268	0,262	0,305	0,133	0,126	0,156	0,172	0,290	0,127	<b>0,220</b>
<b>7. Filtración</b>	0,071	0,024	0,094	0,108	0,102	0,053	0,054	0,210	0,031	0,089	0,084	0,078	0,069	0,024	0,073	<b>0,077</b>
<b>8. Captación AP</b>	0,071	0,193	0,094	0,108	0,102	0,053	0,013	0,052	0,031	0,067	0,063	0,078	0,069	0,024	0,073	<b>0,073</b>
<b>9. Floculación</b>	0,071	0,024	0,094	0,108	0,102	0,053	0,107	0,105	0,061	0,089	0,084	0,078	0,069	0,036	0,091	<b>0,078</b>
<b>10. Conducciones</b>	0,018	0,016	0,010	0,018	0,017	0,044	0,013	0,017	0,015	0,022	0,042	0,013	0,009	0,024	0,036	<b>0,021</b>
<b>11. Aireador</b>	0,018	0,019	0,010	0,011	0,017	0,044	0,013	0,017	0,015	0,011	0,021	0,013	0,011	0,018	0,036	<b>0,018</b>
<b>12. Reja</b>	0,018	0,019	0,010	0,018	0,017	0,044	0,018	0,017	0,020	0,044	0,042	0,026	0,017	0,024	0,036	<b>0,025</b>
<b>13. Motores</b>	0,018	0,032	0,063	0,018	0,013	0,053	0,027	0,026	0,031	0,089	0,063	0,052	0,034	0,024	0,036	<b>0,039</b>
<b>14. Variador Frec.</b>	0,106	0,048	0,094	0,108	0,017	0,066	0,161	0,157	0,122	0,067	0,084	0,078	0,103	0,073	0,091	<b>0,092</b>
<b>15. Ventilación</b>	0,012	0,019	0,008	0,011	0,013	0,038	0,013	0,013	0,012	0,011	0,011	0,013	0,017	0,015	0,018	<b>0,015</b>

## Matriz de Comparación por Pares de Equipos (Parámetros Orgánicos)

Equipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1. Bomba	1,00	0,20	0,33	0,33	0,33	0,20	0,50	0,33	0,20	2,00	0,33	2,00	2,00	0,33	4,00
2. Dosificación Qcos	5,00	1,00	4,00	4,00	3,00	0,25	5,00	3,00	0,50	5,00	2,00	5,00	3,00	2,00	5,00
3. Válvula	3,00	0,25	1,00	0,33	0,33	0,20	2,00	0,50	0,25	3,00	0,33	3,00	2,00	0,33	5,00
4. Tableros	3,00	0,25	3,00	1,00	2,00	0,25	4,00	2,00	0,25	4,00	0,33	4,00	3,00	0,50	5,00
5. Sensores	3,00	0,33	3,00	0,50	1,00	0,25	4,00	2,00	0,33	5,00	0,33	4,00	3,00	0,50	5,00
6. Generador/Energía	5,00	4,00	5,00	4,00	4,00	1,00	5,00	4,00	4,00	6,00	4,00	5,00	5,00	4,00	6,00
7. Filtración	2,00	0,20	0,50	0,25	0,25	0,20	1,00	0,33	0,20	2,00	0,25	2,00	2,00	0,33	4,00
8. Captación AP	3,00	0,33	2,00	0,50	0,50	0,25	3,00	1,00	0,33	4,00	0,33	4,00	4,00	0,50	5,00
9. Floculación	5,00	2,00	4,00	4,00	3,00	0,25	5,00	3,00	1,00	5,00	2,00	4,00	4,00	2,00	5,00
10. Conducciones	0,50	0,20	0,33	0,25	0,20	0,17	0,50	0,25	0,20	1,00	0,20	0,50	0,50	0,25	2,00
11. Aireador	3,00	0,50	3,00	3,00	3,00	0,25	4,00	3,00	0,50	5,00	1,00	4,00	3,00	2,00	5,00
12. Reja	0,50	0,20	0,33	0,25	0,25	0,20	0,50	0,25	0,25	2,00	0,25	1,00	2,00	0,33	2,00
13. Motores	0,50	0,33	0,50	0,33	0,33	0,20	0,50	0,25	0,25	2,00	0,33	0,50	1,00	0,25	3,00
14. Variador Frec.	3,00	0,50	3,00	2,00	2,00	0,25	3,00	2,00	0,50	4,00	0,50	3,00	4,00	1,00	4,00
15. Ventilación	0,25	0,20	0,20	0,20	0,20	0,17	0,25	0,20	0,20	0,50	0,20	0,50	0,33	0,25	1,00
<b>Total</b>	<b>37,75</b>	<b>10,50</b>	<b>30,20</b>	<b>20,95</b>	<b>20,40</b>	<b>4,08</b>	<b>38,25</b>	<b>22,12</b>	<b>8,97</b>	<b>50,50</b>	<b>12,40</b>	<b>42,50</b>	<b>38,83</b>	<b>14,58</b>	<b>61,00</b>

## Matriz Normalizada (Parámetros Orgánicos)

Equipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Prom.
1. Bomba	0,026	0,019	0,011	0,016	0,016	0,049	0,013	0,015	0,022	0,040	0,027	0,047	0,052	0,023	0,066	<b>0,029</b>
2. Dosificación Qcos	0,132	0,095	0,132	0,191	0,147	0,061	0,131	0,136	0,056	0,099	0,161	0,118	0,077	0,137	0,082	<b>0,117</b>
3. Válvula	0,079	0,024	0,033	0,016	0,016	0,049	0,052	0,023	0,028	0,059	0,027	0,071	0,052	0,023	0,082	<b>0,042</b>
4. Tableros	0,079	0,024	0,099	0,048	0,098	0,061	0,105	0,090	0,028	0,079	0,027	0,094	0,077	0,034	0,082	<b>0,068</b>
5. Sensores	0,079	0,032	0,099	0,024	0,049	0,061	0,105	0,090	0,037	0,099	0,027	0,094	0,077	0,034	0,082	<b>0,066</b>
6. Generador/ Energía	0,132	0,381	0,166	0,191	0,196	0,245	0,131	0,181	0,446	0,119	0,323	0,118	0,129	0,274	0,098	<b>0,209</b>
7. Filtración	0,053	0,019	0,017	0,012	0,012	0,049	0,026	0,015	0,022	0,040	0,020	0,047	0,052	0,023	0,066	<b>0,031</b>
8. Captación AP	0,079	0,032	0,066	0,024	0,025	0,061	0,078	0,045	0,037	0,079	0,027	0,094	0,103	0,034	0,082	<b>0,058</b>
9. Floculación	0,132	0,190	0,132	0,191	0,147	0,061	0,131	0,136	0,112	0,099	0,161	0,094	0,103	0,137	0,082	<b>0,127</b>
10. Conducciones	0,013	0,019	0,011	0,012	0,010	0,041	0,013	0,011	0,022	0,020	0,016	0,012	0,013	0,017	0,033	<b>0,018</b>
11. Aireador	0,079	0,048	0,099	0,143	0,147	0,061	0,105	0,136	0,056	0,099	0,081	0,094	0,077	0,137	0,082	<b>0,096</b>
12. Reja	0,013	0,019	0,011	0,012	0,012	0,049	0,013	0,011	0,028	0,040	0,020	0,024	0,052	0,023	0,033	<b>0,024</b>
13. Motores	0,013	0,032	0,017	0,016	0,016	0,049	0,013	0,011	0,028	0,040	0,027	0,012	0,026	0,017	0,049	<b>0,024</b>
14. Variador Frec.	0,079	0,048	0,099	0,095	0,098	0,061	0,078	0,090	0,056	0,079	0,040	0,071	0,103	0,069	0,066	<b>0,076</b>
15. Ventilación	0,007	0,019	0,007	0,010	0,010	0,041	0,007	0,009	0,022	0,010	0,016	0,012	0,009	0,017	0,016	<b>0,014</b>

Matriz de Comparación por Pares de Equipos (Parámetros Inorgánicos)

Equipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1. Bomba	1,00	0,20	0,33	0,33	0,50	0,20	0,50	0,50	0,50	3,00	2,00	3,00	2,00	0,33	2,00
2. Dosificación Qcos	5,00	1,00	5,00	2,00	4,00	0,20	4,00	2,00	3,00	6,00	5,00	5,00	5,00	2,00	5,00
3. Válvula	3,00	0,20	1,00	0,33	0,33	0,17	0,50	0,50	0,33	2,00	2,00	2,00	2,00	0,33	2,00
4. Tableros	3,00	0,50	3,00	1,00	0,50	0,25	3,00	0,50	0,50	4,00	3,00	2,00	2,00	0,50	3,00
5. Sensores	2,00	0,25	3,00	2,00	1,00	0,20	2,00	0,50	0,50	4,00	3,00	2,00	2,00	0,50	3,00
6. Generador/ Energía	5,00	5,00	6,00	4,00	5,00	1,00	5,00	5,00	5,00	6,00	5,00	6,00	6,00	5,00	7,00
7. Filtración	2,00	0,25	2,00	0,33	0,50	0,20	1,00	2,00	0,33	5,00	4,00	2,00	3,00	0,33	3,00
8. Captación AP	2,00	0,50	2,00	2,00	2,00	0,20	0,50	1,00	2,00	5,00	3,00	3,00	4,00	0,33	2,00
9. Floculación	2,00	0,33	3,00	2,00	2,00	0,20	3,00	0,50	1,00	4,00	4,00	3,00	3,00	0,25	4,00
10. Conducciones	0,33	0,17	0,50	0,25	0,25	0,17	0,20	0,20	0,25	1,00	0,50	0,50	0,50	0,17	0,33
11. Aireador	0,50	0,20	0,50	0,33	0,33	0,20	0,25	0,33	0,25	2,00	1,00	0,33	0,50	0,25	0,50
12. Reja	0,33	0,20	0,50	0,50	0,50	0,17	0,50	0,33	0,33	2,00	3,00	1,00	0,50	0,20	3,00
13. Motores	0,50	0,20	0,50	0,50	0,50	0,17	0,33	0,25	0,33	2,00	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00
14. Variador Frec.	3,00	0,50	3,00	2,00	2,00	0,20	3,00	3,00	4,00	6,00	4,00	5,00	0,50	1,00	6,00
15. Ventilación	0,50	0,20	0,50	0,33	0,33	0,14	0,33	0,50	0,25	3,00	2,00	0,33	0,50	0,17	1,00
<b>Total</b>	<b>30,17</b>	<b>9,70</b>	<b>30,83</b>	<b>17,92</b>	<b>19,75</b>	<b>3,66</b>	<b>24,12</b>	<b>17,12</b>	<b>18,58</b>	<b>55,00</b>	<b>43,50</b>	<b>37,17</b>	<b>32,50</b>	<b>13,37</b>	<b>43,83</b>

Matriz Normalizada (Parámetros Inorgánicos)

Equipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Prom.
<b>1. Bomba</b>	0,033	0,021	0,011	0,019	0,025	0,055	0,021	0,029	0,027	0,055	0,046	0,081	0,062	0,025	0,046	<b>0,037</b>
<b>2. Dosificación Qcos</b>	0,166	0,103	0,162	0,112	0,203	0,055	0,166	0,117	0,161	0,109	0,115	0,135	0,154	0,150	0,114	<b>0,135</b>
<b>3. Válvula</b>	0,099	0,021	0,032	0,019	0,017	0,046	0,021	0,029	0,018	0,036	0,046	0,054	0,062	0,025	0,046	<b>0,038</b>
<b>4. Tableros</b>	0,099	0,052	0,097	0,056	0,025	0,068	0,124	0,029	0,027	0,073	0,069	0,054	0,062	0,037	0,068	<b>0,063</b>
<b>5. Sensores</b>	0,066	0,026	0,097	0,112	0,051	0,055	0,083	0,029	0,027	0,073	0,069	0,054	0,062	0,037	0,068	<b>0,061</b>
<b>6. Generador/ Energía</b>	0,166	0,515	0,195	0,223	0,253	0,273	0,207	0,292	0,269	0,109	0,115	0,161	0,185	0,374	0,160	<b>0,233</b>
<b>7. Filtración</b>	0,066	0,026	0,065	0,019	0,025	0,055	0,041	0,117	0,018	0,091	0,092	0,054	0,092	0,025	0,068	<b>0,057</b>
<b>8. Captación AP</b>	0,066	0,052	0,065	0,112	0,101	0,055	0,021	0,058	0,108	0,091	0,069	0,081	0,123	0,025	0,046	<b>0,071</b>
<b>9. Floculación</b>	0,066	0,034	0,097	0,112	0,101	0,055	0,124	0,029	0,054	0,073	0,092	0,081	0,092	0,019	0,091	<b>0,075</b>
<b>10. Conducciones</b>	0,011	0,017	0,016	0,014	0,013	0,046	0,008	0,012	0,013	0,018	0,011	0,013	0,015	0,012	0,008	<b>0,015</b>
<b>11. Aireador</b>	0,017	0,021	0,016	0,019	0,017	0,055	0,010	0,019	0,013	0,036	0,023	0,009	0,015	0,019	0,011	<b>0,020</b>
<b>12. Reja</b>	0,011	0,021	0,016	0,028	0,025	0,046	0,021	0,019	0,018	0,036	0,069	0,027	0,015	0,015	0,068	<b>0,029</b>
<b>13. Motores</b>	0,017	0,021	0,016	0,028	0,025	0,046	0,014	0,015	0,018	0,036	0,046	0,054	0,031	0,150	0,046	<b>0,037</b>
<b>14. Variador Frec.</b>	0,099	0,052	0,097	0,112	0,101	0,055	0,124	0,175	0,215	0,109	0,092	0,135	0,015	0,075	0,137	<b>0,106</b>
<b>15. Ventilación</b>	0,017	0,021	0,016	0,019	0,017	0,039	0,014	0,029	0,013	0,055	0,046	0,009	0,015	0,012	0,023	<b>0,023</b>

## Matriz de Comparación por Pares de Equipos (Cortes de AP)

Equipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1. Bomba	1,00	4,00	2,00	0,33	0,50	0,20	3,00	2,00	4,00	3,00	4,00	3,00	2,00	0,50	4,00
2. Dosificación Qcos	0,25	1,00	0,33	0,25	0,25	0,17	0,33	0,25	0,50	0,33	0,50	0,50	0,33	0,20	2,00
3. Válvula	0,50	3,00	1,00	0,25	0,33	0,20	2,00	0,33	4,00	2,00	3,00	3,00	0,50	0,33	4,00
4. Tableros	3,00	4,00	4,00	1,00	0,33	0,25	3,00	0,50	5,00	3,00	4,00	3,00	2,00	0,50	5,00
5. Sensores	2,00	4,00	3,00	3,00	1,00	0,20	3,00	0,33	4,00	3,00	4,00	3,00	2,00	2,00	5,00
6. Generador/ Energía	5,00	6,00	5,00	4,00	5,00	1,00	5,00	4,00	6,00	5,00	6,00	6,00	5,00	5,00	7,00
7. Filtración	0,33	3,00	0,50	0,33	0,33	0,20	1,00	0,33	0,50	0,50	3,00	0,50	0,50	0,25	3,00
8. Captación AP	0,50	4,00	3,00	2,00	3,00	0,25	3,00	1,00	4,00	2,00	5,00	4,00	2,00	2,00	5,00
9. Floculación	0,25	2,00	0,25	0,20	0,25	0,17	2,00	0,25	1,00	0,33	2,00	0,50	0,50	0,25	2,00
10. Conducciones	0,33	3,00	0,50	0,33	0,33	0,20	2,00	0,50	3,00	1,00	3,00	2,00	2,00	0,33	4,00
11. Aireador	0,25	2,00	0,33	0,25	0,25	0,17	0,33	0,20	0,50	0,33	1,00	0,50	0,50	0,20	2,00
12. Reja	0,33	2,00	0,33	0,33	0,33	0,17	2,00	0,25	2,00	0,50	2,00	1,00	0,50	0,33	2,00
13. Motores	0,50	3,00	2,00	0,50	0,50	0,20	2,00	0,50	2,00	0,50	2,00	2,00	1,00	0,33	3,00
14. Variador Frec.	2,00	5,00	3,00	2,00	0,50	0,20	4,00	0,50	4,00	3,00	5,00	3,00	3,00	1,00	5,00
15. Ventilación	0,25	0,50	0,25	0,20	0,20	0,14	0,33	0,20	0,50	0,25	0,50	0,50	0,33	0,20	1,00
<b>Total</b>	<b>16,50</b>	<b>46,50</b>	<b>25,50</b>	<b>14,98</b>	<b>13,12</b>	<b>3,71</b>	<b>33,00</b>	<b>11,15</b>	<b>41,00</b>	<b>24,75</b>	<b>45,00</b>	<b>32,50</b>	<b>22,17</b>	<b>13,43</b>	<b>54,00</b>

## Matriz Normalizada (Cortes de AP)

Equipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Prom
<b>1. Bomba</b>	0,061	0,086	0,078	0,022	0,038	0,054	0,091	0,179	0,098	0,121	0,089	0,092	0,090	0,037	0,074	<b>0,081</b>
<b>2. Dosificación Qcos</b>	0,015	0,022	0,013	0,017	0,019	0,045	0,010	0,022	0,012	0,013	0,011	0,015	0,015	0,015	0,037	<b>0,019</b>
<b>3. Válvula</b>	0,030	0,065	0,039	0,017	0,025	0,054	0,061	0,030	0,098	0,081	0,067	0,092	0,023	0,025	0,074	<b>0,052</b>
<b>4. Tableros</b>	0,182	0,086	0,157	0,067	0,025	0,067	0,091	0,045	0,122	0,121	0,089	0,092	0,090	0,037	0,093	<b>0,091</b>
<b>5. Sensores</b>	0,121	0,086	0,118	0,200	0,076	0,054	0,091	0,030	0,098	0,121	0,089	0,092	0,090	0,149	0,093	<b>0,101</b>
<b>6. Generador/ Energía</b>	0,303	0,129	0,196	0,267	0,381	0,270	0,152	0,359	0,146	0,202	0,133	0,185	0,226	0,372	0,130	<b>0,230</b>
<b>7. Filtración</b>	0,020	0,065	0,020	0,022	0,025	0,054	0,030	0,030	0,012	0,020	0,067	0,015	0,023	0,019	0,056	<b>0,032</b>
<b>8. Captación AP</b>	0,030	0,086	0,118	0,133	0,229	0,067	0,091	0,090	0,098	0,081	0,111	0,123	0,090	0,149	0,093	<b>0,106</b>
<b>9. Floculación</b>	0,015	0,043	0,010	0,013	0,019	0,045	0,061	0,022	0,024	0,013	0,044	0,015	0,023	0,019	0,037	<b>0,027</b>
<b>10. Conducciones</b>	0,020	0,065	0,020	0,022	0,025	0,054	0,061	0,045	0,073	0,040	0,067	0,062	0,090	0,025	0,074	<b>0,049</b>
<b>11. Aireador</b>	0,015	0,043	0,013	0,017	0,019	0,045	0,010	0,018	0,012	0,013	0,022	0,015	0,023	0,015	0,037	<b>0,021</b>
<b>12. Reja</b>	0,020	0,043	0,013	0,022	0,025	0,045	0,061	0,022	0,049	0,020	0,044	0,031	0,023	0,025	0,037	<b>0,032</b>
<b>13. Motores</b>	0,030	0,065	0,078	0,033	0,038	0,054	0,061	0,045	0,049	0,020	0,044	0,062	0,045	0,025	0,056	<b>0,047</b>
<b>14. Variador Frec.</b>	0,121	0,108	0,118	0,133	0,038	0,054	0,121	0,045	0,098	0,121	0,111	0,092	0,135	0,074	0,093	<b>0,098</b>
<b>15. Ventilación</b>	0,015	0,011	0,010	0,013	0,015	0,039	0,010	0,018	0,012	0,010	0,011	0,015	0,015	0,015	0,019	<b>0,015</b>

### Consistencia de Equipos

- Parámetros Físicos

<b>N</b>	15
<b>RI</b>	1,583
<b>Lamda</b>	17,1914
<b>CI</b>	0,16
<b>CR</b>	0,098880

- Parámetros Orgánicos

<b>N</b>	15
<b>RI</b>	1,583
<b>Lamda</b>	16,8716
<b>CI</b>	0,13
<b>CR</b>	0,084451

- Parámetros Inorgánicos

<b>N</b>	15
<b>RI</b>	1,583
<b>Lamda</b>	17,18
<b>CI</b>	0,16
<b>CR</b>	0,098

- Cortes de AP

<b>N</b>	15
<b>RI</b>	1,583
<b>Lamda</b>	16,79
<b>CI</b>	0,13
<b>CR</b>	0,0809

En los cuatro casos mostrados, el índice de consistencia es menos a 0,1 y se considera que la consistencia del análisis de los equipos es aceptable.

## Anexo B: Análisis AHP Aguas Servidas

### Matriz de Comparación por Pares (Criterios)

<b>Criterio</b>	<b>Calidad AS</b>	<b>Rebase Mar/Río</b>	<b>Rebase Planta</b>
<b>Calidad AS</b>	1	0,3	5,0
<b>Rebase Mar/Río</b>	3	1	7
<b>Rebase Planta</b>	0,20	0,1	1
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>13</b>

### Matriz Normalizada

<b>Criterio</b>	<b>Calidad AS</b>	<b>Rebase Mar/Río</b>	<b>Rebase Planta</b>	<b>Promedio</b>
<b>Calidad AS</b>	0,24	0,23	0,38	<b>0,28</b>
<b>Rebase Mar/Río</b>	0,71	0,68	0,54	<b>0,64</b>
<b>Rebase Planta</b>	0,05	0,10	0,08	<b>0,07</b>

### Consistencia de Criterios

<b>N</b>	3
<b>RI</b>	0,525
<b>Lamda</b>	3,10
<b>CI</b>	0,05
<b>CR</b>	0,0921

El índice de Consistencia se considera consistente cuando su valor es menor a 0,1. En este caso, el índice es 0,0921 y se considera que los criterios planteados para AS son consistentes.

Matriz de Comparación por Pares de Equipos (Calidad AS)

Equipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1. Tornillo	1,00	4,00	2,00	0,25	3,00	4,00	0,33	3,00	0,50	3,00	5,00	5,00	3,00	0,50	0,50	1,00
2. Ventilación	0,25	1,00	0,33	0,17	0,50	0,20	0,25	0,33	0,17	0,33	0,50	0,33	1,00	0,25	0,20	0,25
3. Tablero	0,50	3,00	1,00	0,20	3,00	2,00	0,50	2,00	0,50	3,00	4,00	2,00	4,00	0,50	0,50	2,00
4. Generador	4,00	6,00	5,00	1,00	5,00	5,00	4,00	5,00	3,00	5,00	6,00	5,00	6,00	4,00	3,00	4,00
5. Motores	0,33	2,00	0,33	0,20	1,00	0,50	0,33	0,33	0,20	0,33	5,00	0,33	4,00	0,25	0,20	0,25
6. Dosificación de Qcos.	0,25	5,00	0,50	0,20	2,00	1,00	4,00	2,00	0,33	3,00	4,00	0,50	4,00	0,25	0,50	0,50
7. Reja	3,00	4,00	2,00	0,25	3,00	0,25	1,00	4,00	0,33	4,00	5,00	2,00	5,00	0,33	0,25	0,50
8. Bombas	0,33	3,00	0,50	0,20	3,00	0,50	0,25	1,00	0,25	2,00	4,00	0,33	4,00	0,33	0,25	0,50
9. Barredor de Grasa	2,00	6,00	2,00	0,33	5,00	3,00	3,00	4,00	1,00	5,00	6,00	2,00	6,00	2,00	1,00	2,00
10. Válvulas	0,33	3,00	0,33	0,20	3,00	0,33	0,25	0,50	0,20	1,00	3,00	0,50	3,00	0,25	0,25	0,50
11. Montacargas / Funicular	0,20	2,00	0,25	0,17	0,20	0,25	0,20	0,25	0,17	0,33	1,00	0,25	2,00	0,17	0,20	0,25
12. Sensor	0,20	3,00	0,50	0,20	3,00	2,00	0,50	3,00	0,50	2,00	4,00	1,00	3,00	0,50	0,25	0,50
13. Compactador	0,33	1,00	0,25	0,17	0,25	0,25	0,20	0,25	0,17	0,33	0,50	0,33	1,00	0,17	0,33	0,50
14. Variador Frec.	2,00	4,00	2,00	0,25	4,00	4,00	3,00	3,00	0,50	4,00	6,00	2,00	6,00	1,00	2,00	2,00
15. Aireador	2,00	5,00	2,00	0,33	5,00	2,00	4,00	4,00	1,00	4,00	5,00	4,00	3,00	0,50	1,00	2,00
16. Soplador	1,00	4,00	0,50	0,25	4,00	2,00	2,00	2,00	0,50	2,00	4,00	2,00	2,00	0,50	0,50	1,00
<b>TOTAL</b>	<b>17,73</b>	<b>56,00</b>	<b>19,50</b>	<b>4,37</b>	<b>44,95</b>	<b>27,28</b>	<b>23,82</b>	<b>34,67</b>	<b>9,32</b>	<b>39,33</b>	<b>63,00</b>	<b>27,58</b>	<b>57,00</b>	<b>11,50</b>	<b>10,93</b>	<b>17,75</b>

Matriz Normalizada (Calidad AS)

Equipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Promedio
1. Tornillo	0,06	0,07	0,10	0,06	0,07	0,15	0,01	0,09	0,05	0,08	0,08	0,18	0,05	0,04	0,05	0,06	<b>0,07</b>
2. Ventilación	0,01	0,02	0,02	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	<b>0,02</b>
3. Tablero	0,03	0,05	0,05	0,05	0,07	0,07	0,02	0,06	0,05	0,08	0,06	0,07	0,07	0,04	0,05	0,11	<b>0,06</b>
4. Generador	0,23	0,11	0,26	0,23	0,11	0,18	0,17	0,14	0,32	0,13	0,10	0,18	0,11	0,35	0,27	0,23	<b>0,19</b>
5. Motores	0,02	0,04	0,02	0,05	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,08	0,01	0,07	0,02	0,02	0,01	<b>0,03</b>
6. Dosificación de Qmcos	0,01	0,09	0,03	0,05	0,04	0,04	0,17	0,06	0,04	0,08	0,06	0,02	0,07	0,02	0,05	0,03	<b>0,05</b>
7. Reja	0,17	0,07	0,10	0,06	0,07	0,01	0,04	0,12	0,04	0,10	0,08	0,07	0,09	0,03	0,02	0,03	<b>0,07</b>
8. Bombas	0,02	0,05	0,03	0,05	0,07	0,02	0,01	0,03	0,03	0,05	0,06	0,01	0,07	0,03	0,02	0,03	<b>0,04</b>
9. Barredor de Grasa	0,11	0,11	0,10	0,08	0,11	0,11	0,13	0,12	0,11	0,13	0,10	0,07	0,11	0,17	0,09	0,11	<b>0,11</b>
10. Válvulas	0,02	0,05	0,02	0,05	0,07	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,02	0,05	0,02	0,02	0,03	<b>0,03</b>
11. Montacargas / Funicular	0,01	0,04	0,01	0,04	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,04	0,01	0,02	0,01	<b>0,02</b>
12. Sensor	0,01	0,05	0,03	0,05	0,07	0,07	0,02	0,09	0,05	0,05	0,06	0,04	0,05	0,04	0,02	0,03	<b>0,05</b>
13. Compactador	0,02	0,02	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,03	<b>0,02</b>
14. Variador Frec.	0,11	0,07	0,10	0,06	0,09	0,15	0,13	0,09	0,05	0,10	0,10	0,07	0,11	0,09	0,18	0,11	<b>0,10</b>
15. Aireador	0,11	0,09	0,10	0,08	0,11	0,07	0,17	0,12	0,11	0,10	0,08	0,15	0,05	0,04	0,09	0,11	<b>0,10</b>
16. Soplador	0,06	0,07	0,03	0,06	0,09	0,07	0,08	0,06	0,05	0,05	0,06	0,07	0,04	0,04	0,05	0,06	<b>0,06</b>

Matriz de Comparación por Pares de Equipos (Rebase Mar/Río)

Equipos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1. Tornillo	1,00	2,00	0,33	0,20	0,50	2,00	0,50	0,33	1,00	0,50	3,00	0,33	2,00	0,33	1,00	2,00
2. Ventilación	0,50	1,00	0,25	0,20	0,50	1,00	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,33	1,00	0,33	0,50	0,50
3. Tablero	3,00	4,00	1,00	0,33	3,00	3,00	0,50	2,00	3,00	3,00	5,00	2,00	4,00	0,50	3,00	3,00
4. Generador	5,00	5,00	3,00	1,00	5,00	5,00	4,00	4,00	5,00	4,00	6,00	4,00	6,00	2,00	4,00	4,00
5. Motores	2,00	2,00	0,33	0,20	1,00	2,00	0,50	0,50	2,00	0,50	4,00	0,50	4,00	0,50	3,00	3,00
6. Dosificación de Qcos	0,50	1,00	0,33	0,20	0,50	1,00	0,50	0,33	0,50	0,50	2,00	0,33	1,00	0,33	0,50	1,00
7. Reja	2,00	2,00	2,00	0,25	2,00	2,00	1,00	2,00	3,00	2,00	4,00	2,00	5,00	0,50	4,00	4,00
8. Bombas	3,00	3,00	0,50	0,25	2,00	3,00	0,50	1,00	3,00	2,00	3,00	0,50	5,00	0,50	4,00	4,00
9. Barredor de Grasa	1,00	2,00	0,33	0,20	0,50	2,00	0,33	0,33	1,00	0,33	2,00	0,33	2,00	0,33	1,00	1,00
10. Válvulas	2,00	3,00	0,33	0,25	2,00	2,00	0,50	0,50	3,00	1,00	4,00	0,50	3,00	0,50	3,00	3,00
11. Montacargas / Funicular	0,33	1,00	0,20	0,17	0,25	0,50	0,25	0,33	0,50	0,25	1,00	0,20	1,00	0,25	0,50	1,00
12. Sensor	3,00	3,00	0,50	0,25	2,00	3,00	0,50	2,00	3,00	2,00	5,00	1,00	3,00	0,50	3,00	3,00
13. Compactador	0,50	1,00	0,25	0,17	0,25	1,00	0,20	0,20	0,50	0,33	1,00	0,33	1,00	0,25	1,00	1,00
14. Variador Frec.	3,00	3,00	2,00	0,50	2,00	3,00	2,00	2,00	3,00	2,00	4,00	2,00	4,00	1,00	4,00	4,00
15. Aireador	1,00	2,00	0,33	0,25	0,33	2,00	0,25	0,25	1,00	0,33	2,00	0,33	1,00	0,25	1,00	4,00
16. Soplador	0,50	2,00	0,33	0,25	0,33	1,00	0,25	0,25	1,00	0,33	1,00	0,33	1,00	0,25	0,25	1,00
<b>TOTAL</b>	<b>28,33</b>	<b>37,00</b>	<b>12,03</b>	<b>4,67</b>	<b>22,17</b>	<b>33,50</b>	<b>12,28</b>	<b>16,37</b>	<b>31,00</b>	<b>19,42</b>	<b>48,00</b>	<b>15,03</b>	<b>44,00</b>	<b>8,33</b>	<b>33,75</b>	<b>39,50</b>

## Matriz Normalizada (Rebase Mar/Río)

Equipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Promedio
1. Tornillo	0,04	0,05	0,03	0,04	0,02	0,06	0,04	0,02	0,03	0,03	0,06	0,02	0,05	0,04	0,03	0,05	0,04
2. Ventilación	0,02	0,03	0,02	0,04	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,01	0,01	0,02
3. Tablero	0,11	0,11	0,08	0,07	0,14	0,09	0,04	0,12	0,10	0,15	0,10	0,13	0,09	0,06	0,09	0,08	0,10
4. Generador	0,18	0,14	0,25	0,21	0,23	0,15	0,33	0,24	0,16	0,21	0,13	0,27	0,14	0,24	0,12	0,10	0,19
5. Motores	0,07	0,05	0,03	0,04	0,05	0,06	0,04	0,03	0,06	0,03	0,08	0,03	0,09	0,06	0,09	0,08	0,06
6. Dosificación de Qmcos	0,02	0,03	0,03	0,04	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02	0,04	0,01	0,03	0,03
7. Reja	0,07	0,05	0,17	0,05	0,09	0,06	0,08	0,12	0,10	0,10	0,08	0,13	0,11	0,06	0,12	0,10	0,09
8. Bombas	0,11	0,08	0,04	0,05	0,09	0,09	0,04	0,06	0,10	0,10	0,06	0,03	0,11	0,06	0,12	0,10	0,08
9. Barredor de Grasa	0,04	0,05	0,03	0,04	0,02	0,06	0,03	0,02	0,03	0,02	0,04	0,02	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03
10. Válvulas	0,07	0,08	0,03	0,05	0,09	0,06	0,04	0,03	0,10	0,05	0,08	0,03	0,07	0,06	0,09	0,08	0,06
11. Montacargas / Funicular	0,01	0,03	0,02	0,04	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01	0,03	0,02
12. Sensor	0,11	0,08	0,04	0,05	0,09	0,09	0,04	0,12	0,10	0,10	0,10	0,07	0,07	0,06	0,09	0,08	0,08
13. Compactador	0,02	0,03	0,02	0,04	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02
14. Variador Frec.	0,11	0,08	0,17	0,11	0,09	0,09	0,16	0,12	0,10	0,10	0,08	0,13	0,09	0,12	0,12	0,10	0,11
15. Aireador	0,04	0,05	0,03	0,05	0,02	0,06	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,02	0,02	0,03	0,03	0,10	0,04
16. Soplador	0,02	0,05	0,03	0,05	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,03	0,03

## Matriz de Comparación por Pares de Equipos (Rebase Planta)

Equipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1. Tornillo	1,00	2,00	0,33	0,25	2,00	2,00	0,33	0,50	1,00	0,50	2,00	0,50	2,00	0,50	1,00	3,00
2. Ventilación	0,33	1,00	0,25	0,25	0,50	1,00	0,33	0,33	0,50	0,50	1,00	0,33	1,00	0,33	0,20	0,33
3. Tablero	3,00	4,00	1,00	0,50	3,00	3,00	2,00	2,00	4,00	3,00	4,00	1,00	4,00	1,00	0,25	3,00
4. Generador	4,00	4,00	2,00	1,00	4,00	5,00	2,00	2,00	4,00	2,00	5,00	2,00	5,00	2,00	2,00	3,00
5. Motores	0,50	2,00	0,33	0,25	1,00	3,00	0,50	0,50	3,00	2,00	5,00	0,33	3,00	0,50	0,33	0,50
6. Dosificación de Qmcos	0,50	1,00	0,33	0,17	0,33	1,00	0,20	0,25	0,50	0,50	1,00	0,25	1,00	0,33	0,50	0,50
7. Reja	3,00	3,00	0,50	0,50	2,00	5,00	1,00	0,50	3,00	3,00	3,00	0,50	3,00	0,50	0,33	3,00
8. Bombas	2,00	3,00	0,50	0,50	2,00	4,00	2,00	1,00	3,00	1,00	3,00	0,50	3,00	0,50	3,00	2,00
9. Barredor de Grasa	1,00	2,00	0,25	0,20	0,33	2,00	0,33	0,33	1,00	0,33	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	1,00
10. Válvulas	2,00	2,00	0,33	0,50	0,50	2,00	0,33	1,00	3,00	1,00	3,00	0,33	3,00	0,50	2,00	2,00
11. Montacargas / Funicular	0,50	1,00	0,25	0,17	0,20	1,00	0,33	0,33	2,00	0,33	1,00	0,33	1,00	0,33	0,50	0,50
12. Sensor	2,00	3,00	1,00	0,50	3,00	4,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	1,00	3,00	1,00	3,00	3,00
13. Compactador	0,50	1,00	0,25	0,17	0,33	1,00	0,25	0,33	2,00	0,33	1,00	0,25	1,00	0,33	1,00	0,50
14. Variador Frec.	2,00	3,00	1,00	0,50	2,00	3,00	2,00	2,00	3,00	2,00	3,00	1,00	3,00	1,00	3,00	3,00
15. Aireador	1,00	5,00	4,00	0,50	3,00	2,00	3,00	0,33	1,00	0,50	2,00	0,33	1,00	0,33	1,00	4,00
16. Soplador	0,33	3,00	0,33	0,33	2,00	2,00	0,33	0,50	1,00	0,50	2,00	0,33	2,00	0,33	0,25	1,00
<b>TOTAL</b>	<b>23,67</b>	<b>40,00</b>	<b>12,67</b>	<b>6,28</b>	<b>26,20</b>	<b>41,00</b>	<b>16,95</b>	<b>13,92</b>	<b>35,00</b>	<b>20,50</b>	<b>39,50</b>	<b>9,33</b>	<b>36,50</b>	<b>9,83</b>	<b>19,37</b>	<b>30,33</b>

Matriz Normalizada (Rebase Planta)

Equipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Promedio
1. Tornillo	0,04	0,05	0,03	0,04	0,08	0,05	0,02	0,04	0,03	0,02	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,10	0,05
2. Ventilación	0,01	0,03	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,04	0,03	0,03	0,01	0,01	0,02
3. Tablero	0,13	0,10	0,08	0,08	0,11	0,07	0,12	0,14	0,11	0,15	0,10	0,11	0,11	0,10	0,01	0,10	0,10
4. Generador	0,17	0,10	0,16	0,16	0,15	0,12	0,12	0,14	0,11	0,10	0,13	0,21	0,14	0,20	0,10	0,10	0,14
5. Motores	0,02	0,05	0,03	0,04	0,04	0,07	0,03	0,04	0,09	0,10	0,13	0,04	0,08	0,05	0,02	0,02	0,05
6. Dosificación de Qmcos	0,02	0,03	0,03	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
7. Reja	0,13	0,08	0,04	0,08	0,08	0,12	0,06	0,04	0,09	0,15	0,08	0,05	0,08	0,05	0,02	0,10	0,08
8. Bombas	0,08	0,08	0,04	0,08	0,08	0,10	0,12	0,07	0,09	0,05	0,08	0,05	0,08	0,05	0,15	0,07	0,08
9. Barredor de Grasa	0,04	0,05	0,02	0,03	0,01	0,05	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,04	0,01	0,03	0,05	0,03	0,03
10. Válvulas	0,08	0,05	0,03	0,08	0,02	0,05	0,02	0,07	0,09	0,05	0,08	0,04	0,08	0,05	0,10	0,07	0,06
11. Montacargas / Funicular	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,06	0,02	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03
12. Sensor	0,08	0,08	0,08	0,08	0,11	0,10	0,12	0,14	0,09	0,15	0,08	0,11	0,08	0,10	0,15	0,10	0,10
13. Compactador	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,06	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,02	0,03
14. Variador Frec.	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,12	0,14	0,09	0,10	0,08	0,11	0,08	0,10	0,15	0,10	0,10
15. Aireador	0,04	0,13	0,32	0,08	0,11	0,05	0,18	0,02	0,03	0,02	0,05	0,04	0,03	0,03	0,05	0,13	0,08
16. Soplador	0,01	0,08	0,03	0,05	0,08	0,05	0,02	0,04	0,03	0,02	0,05	0,04	0,05	0,03	0,01	0,03	0,04

### Consistencia de Equipos

- Calidad de AS

<b>N</b>	16
<b>RI</b>	1,595
<b>Lamda</b>	18,32
<b>CI</b>	0,15
<b>CR</b>	0,097

- Rebase Mar/Río

<b>N</b>	16
<b>RI</b>	1,595
<b>Lamda</b>	17,21
<b>CI</b>	0,08
<b>CR</b>	0,051

- Rebase Planta

<b>N</b>	16
<b>RI</b>	1,595
<b>Lamda</b>	17,75
<b>CI</b>	0,12
<b>CR</b>	0,073

En los tres casos mostrados, el índice de consistencia es menos a 0,1 y se considera que la consistencia del análisis de los equipos es aceptable.

## Anexo C: Dependencias PPAP

*PPAP Poza Azul*



*Proceso de Floculación PPAP Poza Azul. Captura Fotográfica Marzo 2016*



*Proceso de Filtración PPAP Poza Azul. Captura Fotográfica Marzo 2016*

PPAP Peñuelas



*Estanque de Decantación PPAP Peñuelas. Captura Fotográfica Junio 2016*



*Estanque de Decantación PPAP Peñuelas. Captura Fotográfica Junio 2016*

PPAP Concón



*Cámara Repartidora 2 PPAP Concón. Captura fotográfica Octubre 2016*



*Sala de Alta PPAP Concón. Captura fotográfica Octubre 2016*

## Anexo D: Dependencias PTAS – Emisarios

*PTAS Higerillas*

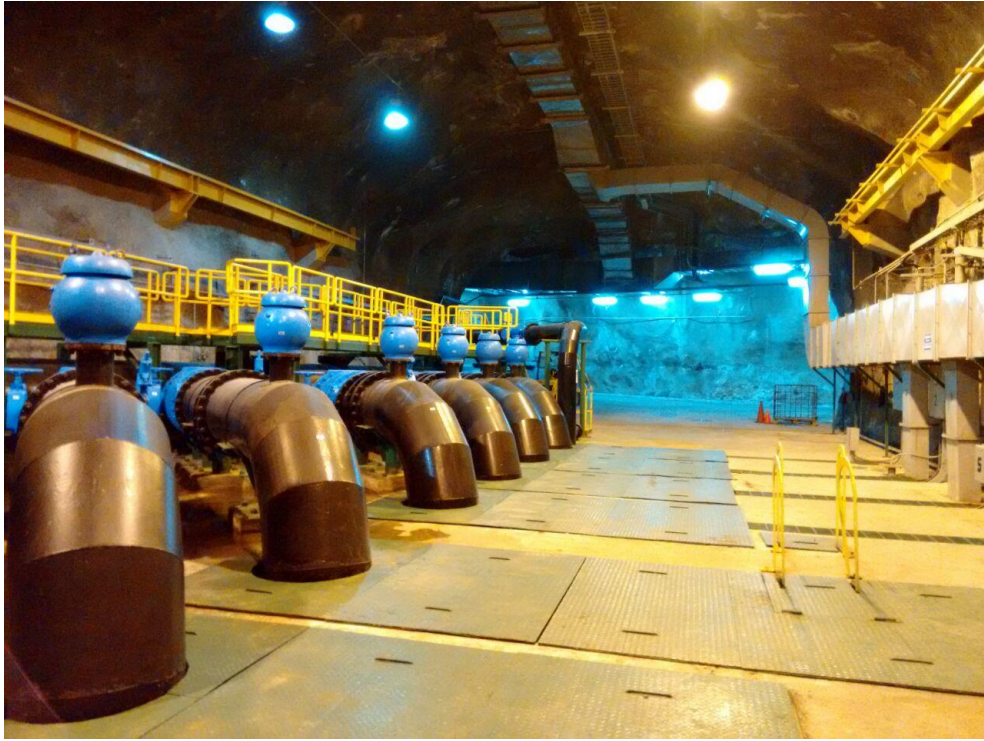


*Módulos de Tratamiento PTAS Higerillas. Captura fotográfica Enero 2016*



*Sistema de Ventilación PTAS Higerillas. Captura fotográfica Enero 2016*

*PTAS Loma Larga*



*Sala de Bombas PTAS Loma Larga. Captura Fotográfica Junio 2016*



*Contenedores Arena y Sólidos Reja Fina PTAS Loma Larga. Captura fotográfica Junio 2016*

PTAS 2 Norte



*Scrubber PTAS 2 Norte. Captura fotográfica Septiembre 2016*



*Salida de gases a Chimenea PTAS 2 Norte. Captura fotográfica Septiembre 2016*

## Anexo E: Dependencias PTAS – LA

*PTAS (LA) Placilla*



*Aireador PTAS (LA) Placilla. Captura Fotográfica Abril 2016*



*Depósito de Lodos Deshidratados PTAS (LA) Placilla. Captura Fotográfica Abril 2016*

*PTAS (LA) Casablanca*



*Aireador PTAS (LA) Casablanca. Captura fotográfica Octubre 2016*



*Laguna Sedimentación PTAS (LA) Casablanca. Captura fotográfica Octubre 2016*

*PTAS (LA) Puchuncaví*



*Aiteador PTAS (LA) Puchuncaví. Captura fotográfica Octubre 2016*

## Anexo F: Gastos de Mantenimiento

**Eficiencia de Mantenimiento**  
**ESVAL S.A. - Aguas del Valle S.A.**



Periodo de Análisis: 01-01-2015 a 31-10-2015

$$KPI = \frac{\text{Gasto en Mantenimiento Preventivo}}{\text{Gasto totales de Mantenimiento}} [\%]$$

1

Gastos Mantenimiento Preventivo			Participación del Preventivo			
Mes	ADVA	ESVA	Total general	ADVA	ESVA	Total Compañía
<b>enero</b>	<b>28.623.908</b>	<b>113.818.878</b>	<b>142.442.786</b>			
Mant. Correctivo	28.623.908	113.775.220	142.399.128	0%	0%	0%
Mant. Preventivo	0	43.658	43.658			
<b>febrero</b>	<b>28.218.634</b>	<b>98.286.224</b>	<b>126.504.858</b>			
Mant. Correctivo	27.799.198	79.763.355	107.562.553	1%	19%	15%
Mant. Preventivo	419.436	18.522.869	18.942.305			
<b>marzo</b>	<b>39.462.757</b>	<b>146.607.924</b>	<b>186.070.681</b>			
Mant. Correctivo	39.091.967	93.567.806	132.659.773	1%	36%	29%
Mant. Preventivo	370.790	53.040.118	53.410.908			
<b>abril</b>	<b>46.378.580</b>	<b>115.966.564</b>	<b>162.345.144</b>			
Mant. Correctivo	42.426.211	60.439.857	102.866.068	9%	48%	37%
Mant. Preventivo	3.952.369	55.526.707	59.479.076			
<b>mayo</b>	<b>43.636.643</b>	<b>108.347.213</b>	<b>151.983.856</b>			
Mant. Correctivo	32.500.620	107.304.883	139.805.503	26%	1%	8%
Mant. Preventivo	11.136.023	1.042.330	12.178.353			
<b>junio</b>	<b>45.880.561</b>	<b>155.339.942</b>	<b>201.220.503</b>			
Mant. Correctivo	28.060.316	80.660.353	108.720.669	39%	48%	46%
Mant. Preventivo	17.820.245	74.679.589	92.499.834			
<b>julio</b>	<b>50.356.265</b>	<b>101.835.024</b>	<b>152.191.289</b>			
Mant. Correctivo	32.815.779	49.546.190	82.361.969	35%	51%	46%
Mant. Preventivo	17.540.486	52.288.834	69.829.320			
<b>agosto</b>	<b>44.985.149</b>	<b>115.000.854</b>	<b>159.986.003</b>			
Mant. Correctivo	16.157.030	55.701.384	71.858.414	64%	52%	55%
Mant. Preventivo	28.828.119	59.299.470	88.127.589			
<b>Septiembre</b>	<b>35.992.344</b>	<b>142.550.866</b>	<b>178.543.210</b>			
Mant. Correctivo	21.012.883	68.092.283	89.105.166	42%	52%	50%
Mant. Preventivo	14.979.461	74.458.583	89.438.044			
<b>Octubre</b>	<b>67.950.867</b>	<b>112.196.122</b>	<b>180.146.989</b>			
Mant. Correctivo	24.541.309	45.760.332	70.301.641	64%	59%	61%
Mant. Preventivo	43.409.558	66.435.790	109.845.348			
<b>Noviembre</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>			
Mant. Correctivo	0	0	0	-	-	-
Mant. Preventivo	0	0	0			
<b>Diciembre</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>			
Mant. Correctivo	0	0	0	-	-	-
Mant. Preventivo	0	0	0			
<b>Total general</b>	<b>431.485.708</b>	<b>1.209.949.611</b>	<b>1.641.435.319</b>			

Acumulado Anual

Nivel de Mantenición	ADVA	ESVA	Acumulado Anual
Mant. Preventivo	32%	38%	36%

Compilado por:  
 Alfonso Lopez C.  
 Departamento Ingeniería en Mantenición ESVAL S.A

Revisado por:  
 Orlando Sepúlveda C.  
 Subgerente de Mantenición ESVAL S.A.

*Gastos de Mantenimiento Sub Gerencia de Mantenimiento. Indicadores 2015*

## Anexo G: Capacitación RCM CIDES Corpotraining



### Información general

#### Mantenimiento Centrado en Confiabilidad Plus (RCM+)

**Lugar:** Santiago

Consultar lugar específico al

T: (56-2) 23730170 E: [ides@ides.cl](mailto:ides@ides.cl)

**Duración**

15 Horas

**Fecha**

22 y 23 de Febrero 2017

- ▶ **Nombre:** Gestión de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad
- ▶ **Código Sence:** 12-37-8374-75  
Actividad de Capacitación autorizada por el SENCE para los efectos de la franquicia tributaria de capacitación, no conducente al otorgamiento de un título o grado académico.
- ▶ **Horario:** **Miércoles 22:** 9:00 a 13:00 y 14:15 a 18:00 horas  
**Jueves 23:** 9:00 a 13:00 y 14:15 a 17:30 horas
- ▶ **Org. Capacitador:** CIDES Corpotraining Ltda. Rut: 77.334.850-2 T: (56-2) 23730170 E: [ides@ides.cl](mailto:ides@ides.cl)

#### Precio Promocional por TEMPORADA DE VERANO (Enero, Febrero y Marzo 2017)

**Precio Normal**  
\$520.000 p/p

**Temporada Verano**  
\$260.000 p/p

- ▶ **Valor incluye:** Almuerzos, coffee-breaks, material del curso (impreso y en formato electrónico) y Diploma.

#### Inscripciones

Deben realizarse por medio de nuestra **FICHA DE INSCRIPCIÓN**. Obténgala en [www.cides.cl](http://www.cides.cl) en el botón "Inscribase" del curso correspondiente, o solicítela a [ides@ides.cl](mailto:ides@ides.cl) o al (562)23730170.

**Comunicación Sence:** La comunicación de la inscripción a Sence la debe realizar la empresa participante a más tardar 2 días hábiles antes del inicio del curso: hasta el 20 de febrero 2017.

#### Notas

1. CIDES se reserva el derecho de suspender la realización de este seminario en la eventualidad que haya menos de 12 inscritos en el mismo.
2. Apenas se alcance el quórum mínimo necesario o, en su defecto, cuando CIDES Corpotraining considere posible efectuar el seminario, se enviará mail de confirmación de su realización a los inscritos y/o a los responsables de inscripción.
3. Por otra parte, si se decidiera suspender el seminario, se comunicará esto por e-mail a los respectivos responsables de inscripción, con al menos 3 días hábiles de anticipación al inicio del mismo, salvo fuerza mayor de último momento.
4. Si un participante inscrito no pudiera participar en el seminario, podrá ser reemplazado por otro participante de su misma empresa. Si esto no fuera posible, el responsable de inscripción deberá comunicarnos este hecho por escrito (e-mail) con al menos 3 días hábiles antes de su inicio.

## Bibliografía

- Acuña, J. (2003). Introducción. En J. Acuña, *Ingeniería de Confiabilidad* (págs. 15-28). Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Amendola, L. (2011). *Gestión integral del mantenimiento de activos como estrategia de negocios (Assessment, PAS 55 - ISO 55000)*. España.
- Arata, A., & Furlanetto, L. (2004). Introducción a la Mantenición. En A. Arata, B. Atzori, M. Cattaneo, E. Cuomo, B. De Marzo, L. Furlanetto, . . . R. Stegmaier Bravo, *Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento* (págs. 3-67). Viña del Mar: Ril Editores.
- Arata, A., & Stegmaier, R. (2004). Estrategias de mantención. En A. Arata, B. Atzori, M. Cattaneo, E. Cuomo , B. De Marzo, L. Furlanetto, . . . R. Stegmaier Bravo, *Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento* (págs. 187-191). Viña del Mar: Ril Editores.
- BCN. (2000). Decreto Supremo N° 90. En C. Nacional, *Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales* (pág. 6 y 9). Santiago.
- CONAMA. (11 de Mayo de 2016). *Tecnología de Laguna Aireada*. Obtenido de SINIA: [http://www.sinia.cl/1292/articles-49990\\_29.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_29.pdf)
- ESVAL. (2009). *Solicitud de ampliación de concesiones sanitarias en Placilla de Peñuelas*. Valparaíso.
- ESVAL. (10 de Mayo de 2016). *Memoria Anual 2011*. Obtenido de ESVAL: <http://portal.aguadelvalle.cl/wp-content/uploads/2012/04/MEMORIA-ESVAL-2011.pdf>
- Habiterra. (2014). Estudio de Factibilidad Sanitaria. En H. Ltda., *Actualización del Plan Regulador Comunal de Concón* (pág. 5 y 6). Concón.
- INE. (10 de Mayo de 2016). *Productos Estadísticos: Demográficas y Vitales*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística: [http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/familias/demograficas\\_vitales.php](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/familias/demograficas_vitales.php)
- INECC. (2010). Mantenimiento. En Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, *Manual 4: Operación de Estaciones de Medición de la Calidad del Aire, Mantenimiento y Calibración de sus Componentes* (pág. 21). Ciudad de México: INECC.
- Ley18902. (s.f.). *Diario Oficial de la República de Chile*. Santiago, Chile, 27 de Enero de 1990.

- Moubray, J. (2004). *Reliability Centred Maintenance - Edición en Español*. North Carolina, USA.
- NCh409/1. (2005). Norma Chilena 409: Agua Potable - Parte 1. En INN, *Norma Chilena Oficial* (pág. 7). Santiago.
- Pierdant, A. (2006). Distribución de Frecuencias y Gráficas en Estadística. En A. I. Pierdant Rodríguez, & J. Rodríguez Franco, *Elementos básicos de estadística para Ciencias Sociales* (págs. 57 - 84). Mexico DF: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Renovetec. (2009). Volumen 4: Mantenimiento Correctivo. En Renovetec, *Colección Mantenimiento Industrial* (págs. 5 - 6). Madrid: Editorial RENOVETEC.
- Rojas, C. (6 de Octubre de 2014). Gobierno recibió el estudio para la autonomía de Placilla. *Mercurio Valparaíso*, pág. 5.
- Saaty, T. (1988). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw Hill.
- Simpson, G., & Bilbao, V. (2001). *Saneamiento del Gran Valparaíso*. Valparaíso.
- SISS. (2011). *Fiscalización PTAS\13-Resoluciones\RPM - 01 - V - 2011 ESDosNorte*. Valparaíso.
- SISS. (10 de Mayo de 2016). *Sistemas de Tratamientos de Agua Servida autorizados V Región*. Obtenido de Superintendencia de Servicios Sanitarios: <http://www.siss.gob.cl/577/w3-article-5124.html>
- Woodhouse, J. (1994). *Criticality Analysis Revisited. The Woodhouse Partnership Limited*. Newbury.