

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN “REY BALDUINO DE BÉLGICA”

MEJORAMIENTO DE EFICIENCIA OPERACIONAL
EN PLANTA ELEVADORA DE AGUA POTABLE
ANDALUÉ.

MARCELO ALEJANDRO REYES POLANCO

2018

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN “REY BALDUÍNO DE BÉLGICA”**

**MEJORAMIENTO DE EFICIENCIA OPERACIONAL
EN PLANTA ELEVADORA DE AGUA POTABLE ANDALUÉ.**

**Trabajo para optar al Título Profesional de Ingeniero de
Ejecución en Mantenimiento Industrial.**

Alumno: Marcelo Alejandro Reyes Polanco.

Profesor Guía: Aldo Fuentes Troncoso.

Año 2018

Con especial dedicación a Mercedes Polanco y José Galindo, mis padres.

A Mabel Ormeño y Sofía Isidora, mi hija.

Por su gran apoyo, durante este proceso.

RESUMEN

En relación al orden de exposición de contenidos de este trabajo de título podemos precisar:

En primera instancia se presenta una pequeña introducción con el fin de guiar al lector en relación al tema analizado y así fundamentar lo que se consiguió con este proyecto de mejora.

Esto ayuda al lector a poder enfatizar y guiarse de manera correcta en relación a todos los puntos que encontraremos en el avance del estudio de aumento de eficiencia energética en el bombeo de la Planta Elevadora de Agua Potable Andalué, en adelante PEAP Andalué.

Por consiguiente a modo de consecución de la introducción y los objetivos primordiales de este proyecto se presenta como preámbulo y a manera de enseñanza general, continuamos con capítulos que nos enseñan las formas en que se puede obtener la materia prima para la producción del agua potable, es decir, “el agua cruda”.

Más adelante, en el capítulo siguiente, aprenderemos básicamente cómo es el ciclo urbano del agua, objeto podamos interiorizarnos poco a poco en nuestro proyecto.

A continuación observaremos en el trabajo las diversas preguntas de investigación, la justificación expuesta y marco teórico en que se basa este proyecto, los alcances y limitaciones del trabajo como también un análisis generalizado sobre la mejora solicitada.

Terminando en el último capítulo encontraremos la evaluación económica y análisis financiero de este proyecto de mejora; que nos permitió decidir la mejor opción de mejora, cumpliendo con esto tanto el objetivo general como los objetivos específicos planteados al inicio de este trabajo de título.

Por último se genera una conclusión referente a este trabajo de título en el que se dará cierta valía a todos los procesos buscados en referencia, tanto a las preguntas investigativas, las justificaciones pensadas y a los objetivos generales y específicos en referencia al aumento de la eficiencia energética en el bombeo de la PEAP Andalué.

ÍNDICE DE MATERIAS

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| OBJETIVOS | 4 |
| Objetivo General | 4 |
| Objetivos específicos..... | 4 |
| CAPÍTULO 1. FUENTES Y CAPTACIONES DE AGUA EN ESSBIO- NUEVOSUR..... | 5 |
| 1. CAPTACIONES Y FUENTES DE AGUA EN ESSBIO-NUEVOSUR..... | 6 |
| 1.1 TIPOS DE CAPTACIONES DE AGUA | 6 |
| 1.1.1 Captaciones superficiales | 6 |
| 1.1.2 Captaciones subterráneas | 6 |
| 1.2 FUENTES Y VOLUMEN DE AGUA CAPTADA POR ESSBIO- NUEVOSUR | 10 |
| 1.2.1 Captaciones de Essbio y Nuevosur | 10 |
| 1.2.2 Captaciones Essbio SA., Región del Libertador Bernardo O'Higgins . | 10 |
| 1.2.3 Captaciones Essbio SA., Región del Maule..... | 11 |
| 1.2.4 Captaciones Essbio SA., Región del Biobío. | 12 |
| CAPÍTULO 2. GENERALIDADES DEL CICLO DEL AGUA | 13 |
| 2. GENERALIDADES DEL CICLO DEL AGUA | 14 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.1 | ¿DE CUÁNTA AGUA DULCE DISPONEMOS EN EL PLANTA? | 14 |
| 2.2 | ¿CUÁL ES LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN NUESTRO PAÍS? | 16 |
| 2.3 | ¿QUÉ USO SE LE AL DA AGUA EN NUESTRO PAÍS?..... | 18 |
| 2.4 | EL CICLO DEL AGUA..... | 19 |
| 2.5 | EL CICLO URBANO DEL AGUA..... | 20 |
| 2.5.1 | Captación..... | 21 |
| 2.5.2 | Potabilización – Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP)..... | 22 |
| 2.5.3 | Transporte y Almacenamiento | 22 |
| 2.5.4 | Red de distribución | 22 |
| 2.5.5 | Red de alcantarillado..... | 22 |
| 2.5.6 | Tratamiento – Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS)..... | 22 |
| 2.6. | PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE..... | 23 |
| 2.6.1 | Pre-sedimentación | 23 |
| 2.6.2 | Coagulación- Floculación | 23 |
| 2.6.3 | Sedimentación (decantación) | 25 |
| 2.6.4 | Filtración | 25 |
| 2.6.5 | Desinfección..... | 26 |
| 2.7 | PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS | 27 |
| 2.7.1 | CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS SERVIDAS | 27 |

| | | |
|---|--|----|
| 2.7.2 | Pre-tratamiento o Tratamiento Primario | 29 |
| 2.7.3 | Tratamiento Secundario | 30 |
| CAPÍTULO 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y MARCO TEÓRICO..... | | 33 |
| 3. | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y MARCO TEÓRICO | 34 |
| 3.1 | RESEÑA DEL SECTOR SANITARIO..... | 34 |
| 3.2 | LA IMPORTANCIA DEL RECURSO DEL AGUA EN EL SER HUMANO | 35 |
| 3.3 | GENERALIDADES Y MARCO TEÓRICO..... | 35 |
| 3.3.1 | Problemas como el aumento de la huella de carbono | 36 |
| 3.3.2 | Mayor riesgo de cambio climático..... | 36 |
| 3.3.3 | Reducción de la oferta..... | 37 |
| 3.3.4 | Costos de energía más altos | 37 |
| 3.3.5 | Nuevo Recurso | 38 |
| 3.4 | PROCESO INVESTIGATIVO | 39 |
| 3.4.1 | ¿Qué rol y beneficios representaría la eficiencia energética en el funcionamiento de la PEAP Andalué?..... | 39 |
| 3.5 | JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA | 40 |
| 3.6 | INFRAESTRUCTURA SANITARIA | 40 |
| 3.6.1 | Abastecimiento de agua potable en la comuna de San Pedro de la Paz | 41 |

| | | |
|---------------------------------------|---|----|
| 3.6.2 | Ubicación geográfica de la planta | 42 |
| 3.6.3 | Funcionamiento de una Planta Elevadora de Agua Potable..... | 43 |
| 3.6.4 | Condición actual de operación | 43 |
| CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN ECONÓMICA..... | | 46 |
| 4. | EVALUACIÓN ECONÓMICA | 47 |
| 4.1 | CONDICIONES DE OPERACIÓN ACTUAL | 47 |
| 4.1.1 | Descripción de equipo en servicio | 47 |
| 4.2 | COSTO OPERACIONAL ANUAL..... | 48 |
| 4.3 | AHORROS POTENCIALES | 49 |
| 4.3.1 | Ahorro con equipo KSB MULTITEC | 49 |
| 4.3.2 | Ahorro con equipo GRUNDFOS | 49 |
| 4.3.3 | Ahorro con equipo VÖGEL..... | 50 |
| 4.3.4 | Ahorro con equipo KSB ETANORM..... | 50 |
| 4.4 | EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS MEJORAS INCLUYENDO PIPING Y MONTAJE..... | 50 |
| 4.4.1 | Considerando compra de bombas KSB MULTITEC | 50 |
| 4.4.2 | Considerando compra de bombas GRUNDFOS..... | 51 |
| 4.4.3 | Considerando compra de bombas VÖGEL..... | 51 |
| 4.4.4 | Considerando compra de bombas KSB ETANORM..... | 52 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.6 | RESUMEN EVALUATIVO..... | 52 |
| 4.6.1 | Equipo seleccionado..... | 52 |
| 4.6.2 | Características generales y curva del equipo seleccionado..... | 53 |
| 4.6.3 | Resumen económico | 54 |
| | CONCLUSIÓN..... | 56 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 57 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1-1 Captación Reserva Nonguén - Concepción..... | 6 |
| Figura 1-2 Esquema de noria o pozo somero..... | 7 |
| Figura 1-3 Esquema de un pozo profundo. | 8 |
| Figura 1-4 Esquema de una galería. | 8 |
| Figura 1-5 Esquema de un dren tipo. | 9 |
| Figura 1-6 Malla de punteras para agotar napa. | 9 |
| Figura 2-1 Distribución Global del Agua. Fuente: UNESCO, 2014..... | 14 |
| Figura 2-2 Total de recursos hídricos renovables año 2011. | 16 |
| Figura 2-3 Ciclo Hidrológico. Fuente, Gestión Integrada de cuencas hidrográficas, O. Parra- EULA, 2009. | 20 |
| Figura 2-4 Ciclo urbano del agua..... | 21 |
| Figura 2-5 Esquema simplificado del proceso de producción de agua potable. | 23 |
| Figura 2-6 Esquema simplificado del proceso de tratamiento de aguas servidas. | 32 |
| Figura 3-1 Acceso Planta Elevadora de Agua Potable Andalué..... | 42 |
| Figura 3-2 Estanque Andalué ubicado en la subida El Venado. | 43 |
| Figura 4-1 Curva de funcionamiento equipo Imbil..... | 48 |
| Figura 4-2 Curva de funcionamiento equipo Vögel seleccionado. | 54 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1-1 Captaciones Essbio-Nuevosur. | 10 |
| Gráfico 1-2 Captaciones Essbio Región de O'Higgins. | 11 |
| Gráfico 1-3 Captaciones Nuevosur Región del Maule. | 11 |
| Gráfico 1-4 Captaciones Essbio Región del Biobío. | 12 |
| Gráfico 2-1 Disponibilidad de agua en Chile por habitante al año 2009. | 17 |
| Gráfico 2-2 Disponibilidad de agua en Chile por habitante al año 2009. | 18 |
| Gráfico 2-3 Uso del agua en Chile. | 19 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 3-1 Equipos actualmente en planta. | 44 |
| Tabla 3-2 Tiempos operacionales en base a horómetros. | 44 |
| Tabla 4-1 Condiciones de operación actual. | 47 |
| Tabla 4-2 Costo operacional anual..... | 48 |
| Tabla 4-3 Ahorro con equipo KSB MULTITEC de 74%. | 49 |
| Tabla 4-4 Ahorro con equipo GRUNDFOS de 69%. | 49 |
| Tabla 4-5 Ahorro con equipo VÖGEL de 73%. | 50 |
| Tabla 4-6 Ahorro con equipo KSB ETANORM DE 69%..... | 50 |
| Tabla 4-7 Características generales del equipo seleccionado | 53 |
| Tabla 4-8 Comparativa de evaluaciones económicas. | 55 |

INTRODUCCIÓN

De manera introductoria, mediante el presente trabajo de título se concretarán las ideas, las teorías, los esfuerzos, gestiones, variables, investigaciones de eficiencia energética y análisis de acción en el tema de proyecto de mejoramiento a desarrollar, como también aportar una valiosa reflexión tanto teórica como práctica ante la premisa buscada en la perspectiva de aumento de eficiencia energética en el bombeo de la PEAP Andalué, Plana Elevadora de Agua Potable.

Debido a los altos costos de la energía eléctrica en el país, Essbio y NuevoSur por medio del proyecto Hydrus, desean aumentar la eficiencia de sus instalaciones dentro de sus plantas de agua potable y agua servidas.

En base a lo anterior, la Subgerencia de Mantenimiento realizó una medición de Eficiencia Energética para recopilar información del estado actual de operación de los equipos instalados en la PEAP Andalué, y determinar su eficiencia.

Los resultados de la medición determinaron que es posible obtener un importante ahorro incorporando nuevos equipos con tecnología actual de alta eficiencia. Al tomar la propuesta de renovación de equipos, se estima un ahorro en el consumo de energía de 194 Mw-h/año, correspondiente a un ahorro anual de \$12.000.000, considerando un precio de la energía de \$62/Kw-h y un factor de operación real basado en los horómetros del año 2013.

Al realizar estos cambios, por un valor total de \$35.000.000 para los tres equipos, se estima que permitirá obtener un periodo de retorno inferior a 3 años, un VAN a 5 años de aproximadamente \$ 11.000.000 y una TIR de 22%, calculado en base a la producción real del último año que correspondió a 1.000.000 m³. (Tasa de descuento considerada de 10%).

En la actualidad podemos decir que estudios respecto a este tema no han sido ahondados de manera tan específica es por ello que es un campo poco explorado en

variables de análisis teórica y práctica en lo que concierne a investigación propiamente tal.

Ante ello nace la necesidad de ser un grano de aporte a esta área y por sobre todo generar relevancia en torno a la investigación específica, tanto sobre el aumento de eficiencia energética en el bombeo de la PEAP Andalué, como también dejar en claro cuál es el fin del proyecto por lo que en cuanto más claro es el esquema inicial de este proyecto, más exitoso y oportuno es la finalización de la investigación, y es más probable que se logre la comprensión de lo buscado.

La preocupación por mejorar los diversos procesos, tanto en perspectivas globales, así como más personales y específicas es de suma importancia en todos los grados y niveles de acción lo cual es evidente; es por ello que nace la necesidad de ahondar un poco más en el tema y descubrir diversas variables tanto de ayuda como de realización.

Debido a como dijimos anteriormente en Essbio SA. se está ante un campo que desafortunadamente no hay muchas investigaciones analizadas respecto a la eficiencia energética.

Bajo esta premisa buscaremos diversas soluciones que hagan dar en sí una nueva alternativa de información relevante y concreta en cuanto a la solución sobre este tipo de perspectivas y así construir una línea positiva y referente.

En este mundo que se globaliza continuamente, las excursiones al pasado aparecen como un peligro para la integración y solución de problemáticas existentes en toda índole de actividades respecto a la integración del país como de mejora personal entre otros puntos con los grandes capitales o centros de desarrollo.

Las fuentes bibliográficas provienen de mucho tiempo de investigación en especial de análisis en informes de prensa, artículos web, libros, estudios ya realizados internacionales como nacionales tanto de forma práctica, referencial o conceptual especializados sobre el tema a desarrollar e indagar por lo que esta bibliografía fue contrastada y verificada con la realidad en perspectiva pasada como presente en

referencia al tema a exponer y así generar una representación más profunda sobre las observaciones con la intención de generar un interés real sobre este estudio y así poder concebir un énfasis y alcanzar ser referentes en lo que concierne al aumento de eficiencia energética en el bombeo de PEAP Andalué.

Un punto importante a destacar es que también se generó un análisis en concordancia o en referencia a las preguntas cuestionadas y a los logros que se requerían encontrar respecto al cumplimiento de los objetivos tanto generales como específicos buscados en la planificación del proyecto.

Dicho lo anterior lo cual tiene como fin establecer una vara de especificación y análisis profundo en cada uno de los detalle a investigar en perspectiva de forma correcta y precisa y así lograr un proyecto acorde a lo buscado.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Desarrollar un proyecto investigativo con el objeto de aumentar la eficiencia operacional de la Planta Elevadora de Agua Potable Andalué en la comuna de San Pedro de la Paz en la Empresa Essbio SA.

Objetivos específicos

- Conocer tipos de captaciones de agua y conocer aspectos básicos sobre el Ciclo del Agua.
- Investigar y desarrollar un proyecto que permita disminuir el costo de la energía eléctrica consumida por la planta en un 30%.
- Actualizar y estandarizar los equipos para mejorar la confiabilidad de la planta.
- Investigar y desarrollar un proyecto que permita elevar la capacidad de producción anual de la planta en un 15% teniendo en cuenta el crecimiento demográfico de la zona de cobertura. (Actualmente se producen 1.000.000 [m³/año]).

CAPÍTULO 1. FUENTES Y CAPTACIONES DE AGUA EN ESSBIO-
NUEVOSUR

1. CAPTACIONES Y FUENTES DE AGUA EN ESSBIO-NUEVOSUR

1.1 TIPOS DE CAPTACIONES DE AGUA

Una captación de agua es una obra que se utiliza para captar agua para fines productivos. En el caso de las empresas sanitarias, el objetivo es obtener recursos hídricos suficientes para proveer de agua potable a la población.

1.1.1 Captaciones superficiales

Las más utilizadas son las captaciones laterales, que están constituidas por: un muro normal o inclinado con respecto al eje de la corriente del río o estero, para asegurar un nivel mínimo de agua que permita succionarla; un muro lateral para proteger y acondicionar la entrada de agua a una tubería. En este muro se colocan los dispositivos de control de caudal y rejillas, a fin de evitar el ingreso de sólidos a la cámara de captación.



Figura 1-1 Captación Reserva Nonguén - Concepción.

1.1.2 Captaciones subterráneas

De acuerdo a esto podemos definir que existen:

1.1.2.1 Norias o Pozos someros

Es el tipo de captación más antigua y básica, siendo aún utilizada en el campo. Normalmente son de sección cilíndrica, con un diámetro que oscila entre 1 y 6 metros y una profundidad que varía de 5 a 20 metros. Estas captaciones son muy útiles cuando se trata de extraer agua desde acuíferos superficiales, pues su rendimiento es superior al de un pozo de la misma profundidad.

Para construir las norias se puede realizar la excavación en forma manual o con maquinaria. Dependiendo del tipo de suelo, las paredes de la noria pueden corresponder al suelo natural, o ser revestidas de ladrillo o piedra. Generalmente el agua entra por el fondo y por las paredes de la noria.

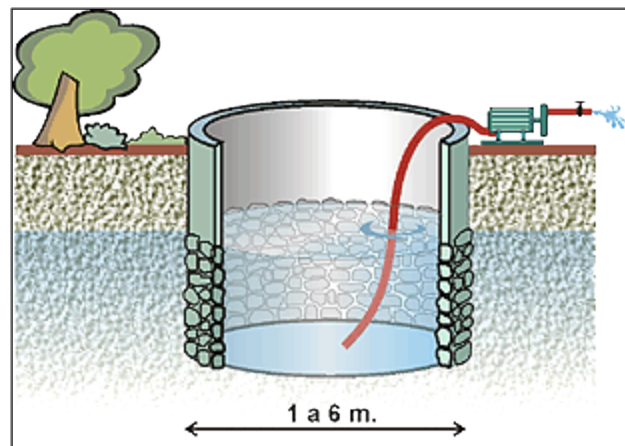


Figura 1-2 Esquema de noria o pozo somero.

1.1.2.2 Pozos profundos

Son el tipo de captaciones subterráneas más utilizadas en la actualidad, pues permiten obtener agua a mayor profundidad y de distintos estratos de suelo. En nuestra zona los diámetros de los pozos varían entre 10 y 16 pulg. y las profundidades entre 12 y 210 metros. No obstante, en zonas del mundo muy áridas como por ejemplo Israel, existen pozos de más de 1.000 metros de profundidad.

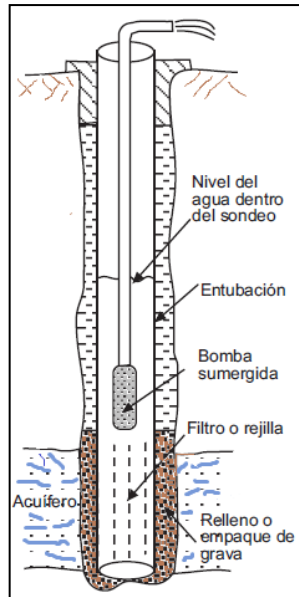


Figura 1-3 Esquema de un pozo profundo.

1.1.2.3 Galerías

Este tipo de captaciones se usaba en la antigüedad y aún existen en sectores donde el nivel de las napas es relativamente superficial. Corresponde a una excavación tipo túnel que intercepta la napa. El agua ingresa a través de las paredes del túnel y escurre en forma gravitacional.

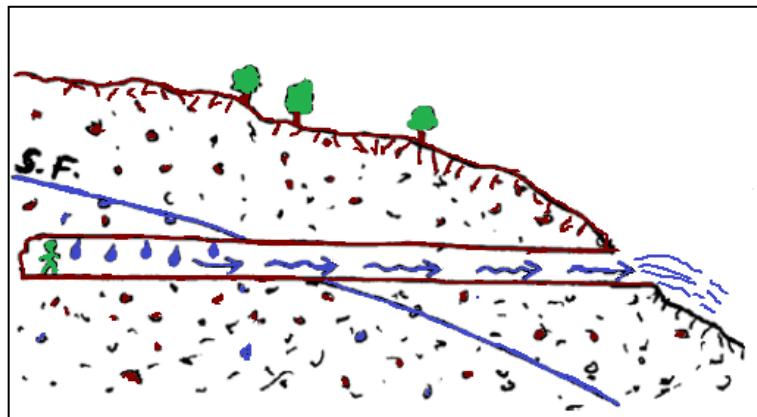


Figura 1-4 Esquema de una galería.

1.1.2.4 Drenes

Son similares a las galerías, pero de dimensiones mucho menores. Se construyen con tubos perforados a tubos perforados por donde ingresa el agua. Son útiles para captar agua en sectores donde la napa es superficial. También se utilizan para estabilizar taludes, drenando el agua que escurre por las laderas.

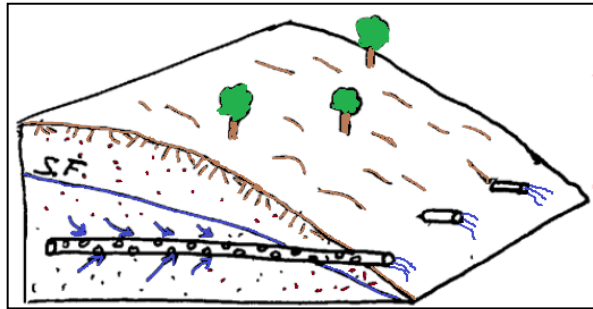


Figura 1-5 Esquema de un dren tipo.

1.1.2.5 Punteras

Grupos de “pozos” de diámetro pequeño (2 a 8 pulgadas), pocos espaciados y de poca profundidad (menos de 15 m.) La malla de punteras se conecta a un colector general y éste a un sistema de bombeo. Se utilizan tanto para captar agua, como para agotar la napa en faenas de construcción.



Figura 1-6 Malla de punteras para agotar napa.

1.2 FUENTES Y VOLUMEN DE AGUA CAPTADA POR ESSBIO-NUEVOSUR

A continuación se resumen tanto el origen del agua captada (superficial o subterránea) por las empresas Essbio y Nuevosur, como el tipo de captaciones existentes.

1.2.1 Captaciones de Essbio y Nuevosur

Ambas empresas cuentan con 406 captaciones: 61 superficiales y 345 subterráneas (pozos, punteras, norias y drenes). En promedio se capta un caudal de 9 m³/s diarios, del cual un 52% proviene de fuentes superficiales y un 48% a fuentes subterráneas.

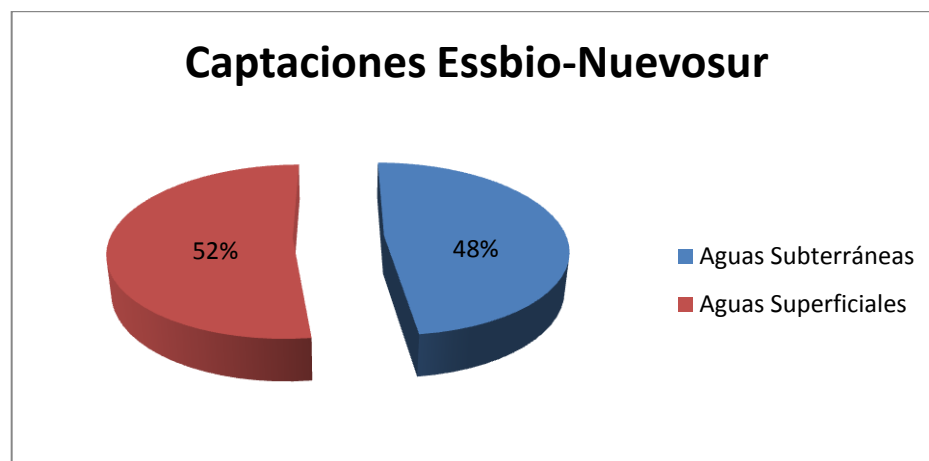


Gráfico 1-1 Captaciones Essbio-Nuevosur.

1.2.2 Captaciones Essbio SA., Región del Libertador Bernardo O'Higgins

Se cuenta con 114 captaciones, de las cuales 6 son superficiales y 108 subterráneas. Se capta un caudal medio diario de 2,1 m³/s. De éste un 62% proviene de fuentes subterráneas, y un 38% de superficiales.

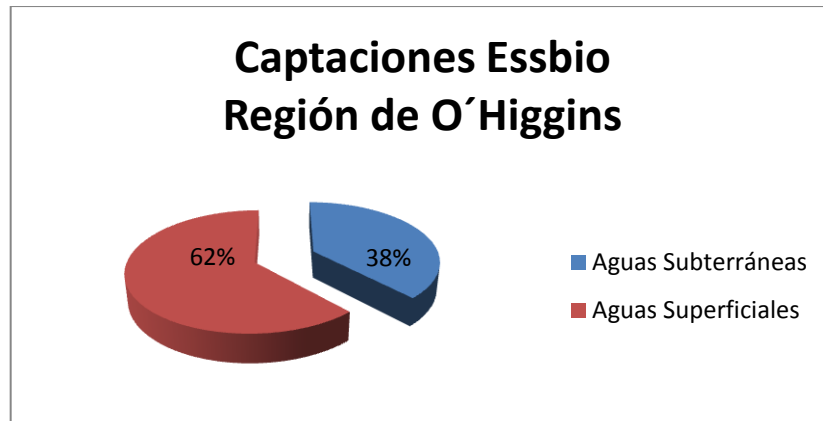


Gráfico 1-2 Captaciones Essbio Región de O'Higgins.

1.2.3 Captaciones Essbio SA., Región del Maule.

Existen 126 captaciones en uso: 15 superficiales y 111 subterráneas. Se capta un caudal medio diario de 2,2 m³/s diarios. De estos, un 94% proviene de fuentes subterráneas y un 6% de superficiales.

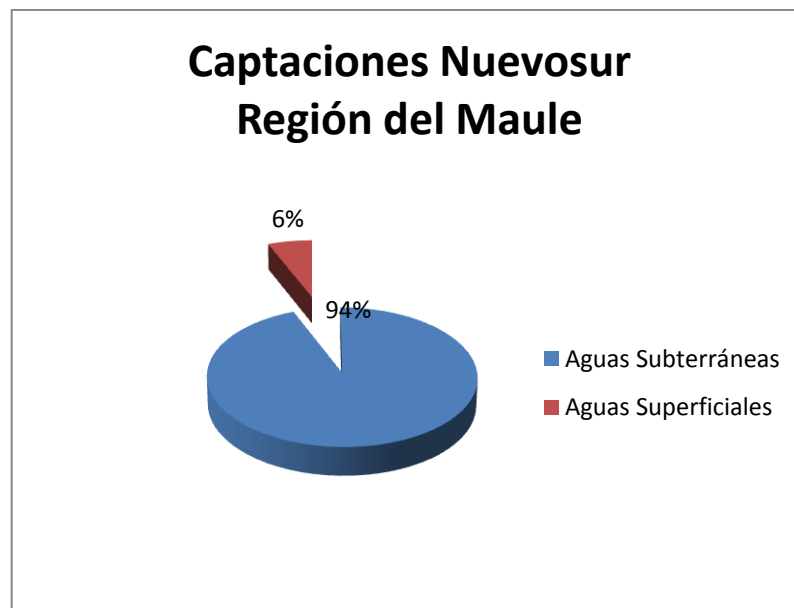


Gráfico 1-3 Captaciones Nuevosur Región del Maule.

1.2.4 Captaciones Essbio SA., Región del Biobío.

Existe 166 captaciones: 40 superficiales y 126 subterráneas. Se capta un caudal medio diario de 4,8 m³/s diarios. De ellos, un 59% proviene de fuentes superficiales y un 41% de subterráneas.

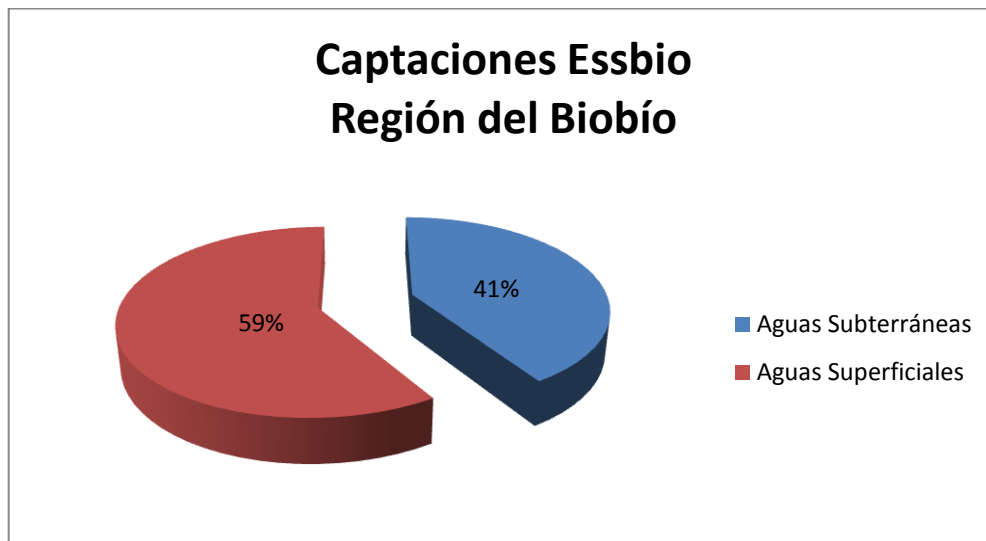


Gráfico 1-4 Captaciones Essbio Región del Biobío.

CAPÍTULO 2. GENERALIDADES DEL CICLO DEL AGUA

2. GENERALIDADES DEL CICLO DEL AGUA

2.1 ¿DE CUÁNTA AGUA DULCE DISPONEMOS EN EL PLANETA?

El agua en nuestro planeta se encuentra en forma natural de muchas formas y en diferentes lugares: en la atmósfera, en la superficie de la tierra y bajo ésta. Se calcula que en la tierra hay unos 1.400 millones de Km³ de agua. Sin embargo, sólo una pequeña parte es agua dulce disponible para su uso, ya que el resto es agua salada, o se encuentra en forma de hielo o vapor, o está situada en lugares inaccesibles.

Como se observa en la siguiente figura, del total de agua disponible en el planeta, sólo alrededor del 3% es agua dulce. De este 3%, sólo un 0,3% se encuentra en forma superficial y un 30,1% en napas subterráneas.

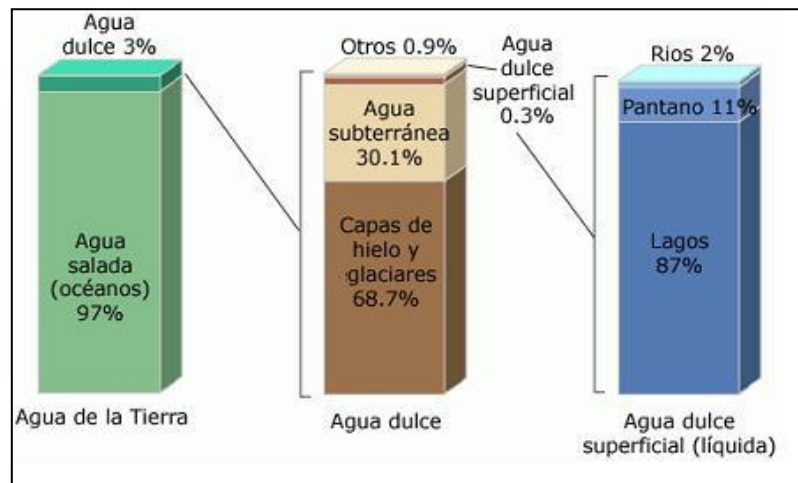


Figura 2-1 Distribución Global del Agua. Fuente: UNESCO, 2014.

El agua dulce que puede ser usada por los seres humanos procede esencialmente de ríos y esteros, y de napas subterráneas de poca profundidad. Es así como históricamente las ciudades se han emplazado en las cercanías de ríos,

facilitando el acceso al agua, tanto para consumo humano como para el desarrollo económico del territorio. En la actualidad, debido a la sobre-explotación de los recursos de los ríos, así como a la contaminación de dichas aguas, ha ido aumentando el uso de los recursos subterráneos, mediante la construcción de pozos cada vez más profundos.

Por otra parte, la distribución de este recurso en el planeta es heterogénea, debido fundamentalmente a las diferencias que se dan en la distribución de las precipitaciones, lo cual hace que no todas las regiones tengan la misma disponibilidad. Es así como, mientras que en algunos países de América del Norte y de Sudamérica se dispone de una media superior a 50.000 m³ de agua por persona al año, algunos países de la península de Arabia prácticamente no pueden satisfacer las necesidades básicas de agua para bebida e higiene personal. Además, en ciertos casos la disponibilidad está también limitada por la calidad del agua, ya que su nivel de degradación la inutiliza para determinados usos.

Por otro lado, factores tales como: el explosivo crecimiento de la población mundial, el aumento del consumo de la población, la industrialización y el incremento de la superficie de cultivos bajo riego, han provocado que en muchos lugares del planeta la demanda supere con creces la cantidad de agua disponible. Es en estos casos, en los que el requerimiento del agua es superior a la disponibilidad del recurso, cuando se habla de escasez hídrica.

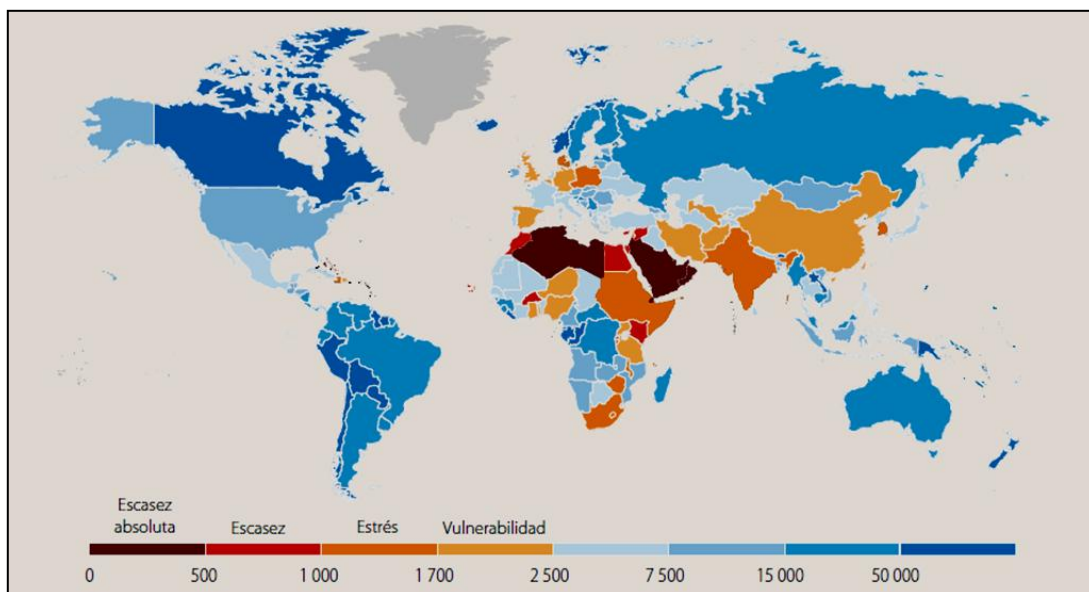


Figura 2-2 Total de recursos hídricos renovables año 2011.

2.2 ¿CUÁL ES LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN NUESTRO PAÍS?

“Dentro del contexto mundial, Chile podría ser calificado como un país privilegiado en cuanto a disponibilidad de agua. Al considerar todo el territorio chileno, el volumen promedio de agua que proviene de las precipitaciones y que escurre por los cauces superficiales es de 53.000 m³ por persona al año, superando en 8 veces la media mundial (6.600 m³/habitante/año), y en 25 veces el mínimo de 2.000 m³/habitante/año que se requiere desde la óptica de un desarrollo sostenible” (MOP, 2012).

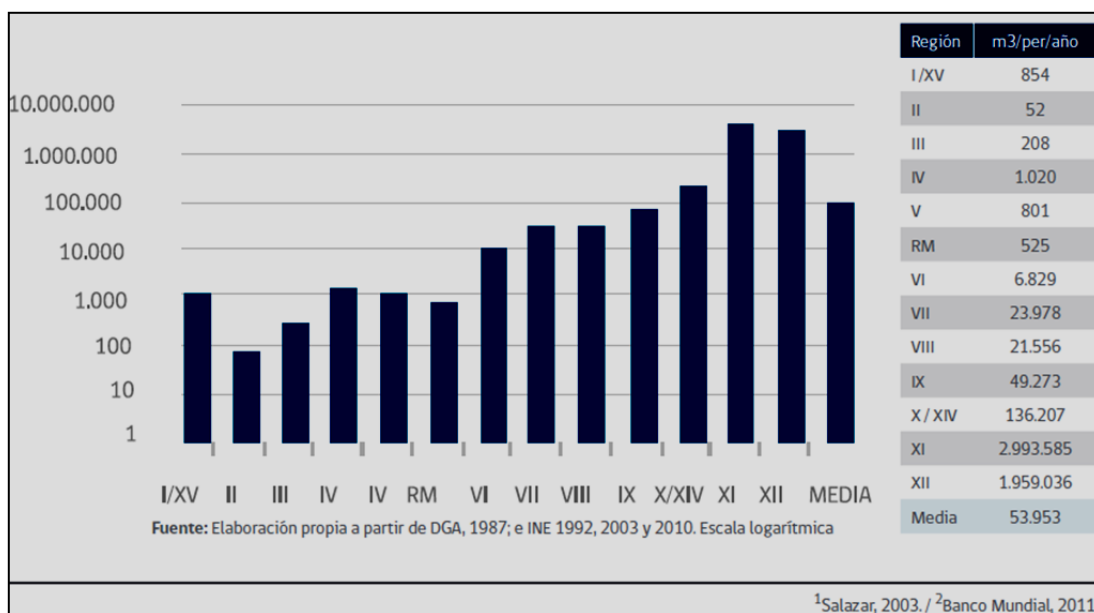


Gráfico 2-1 Disponibilidad de agua en Chile por habitante al año 2009.

Fuente: Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025, MOP, 2012.

No obstante, si se observa el gráfico de la figura anterior, dicha disponibilidad es muy desigual y se asocia a la variedad geográfica y por ende climática de nuestro país. En la zona norte existe un clima desértico con casi nula precipitación, y en la zona sur y austral, se registran niveles de lluvias muy abundantes, por sobre el promedio nacional

“En cuanto a la disponibilidad de aguas subterráneas, se estima que prácticamente la mitad de Chile tiene una disponibilidad de agua subterránea por habitante menor a la media mundial” (MOP, 2012).

Por otro lado, el aumento poblacional y, en mayor medida, el desarrollo económico del país basado en exportación de materias primas para lo cual se hace un uso intensivo de recursos hídricos, han aumentado la demanda en forma sostenida.

En la siguiente figura se muestra el balance de disponibilidad de agua por región, donde claramente se deduce que existe escasez desde la región metropolitana hacia el norte.

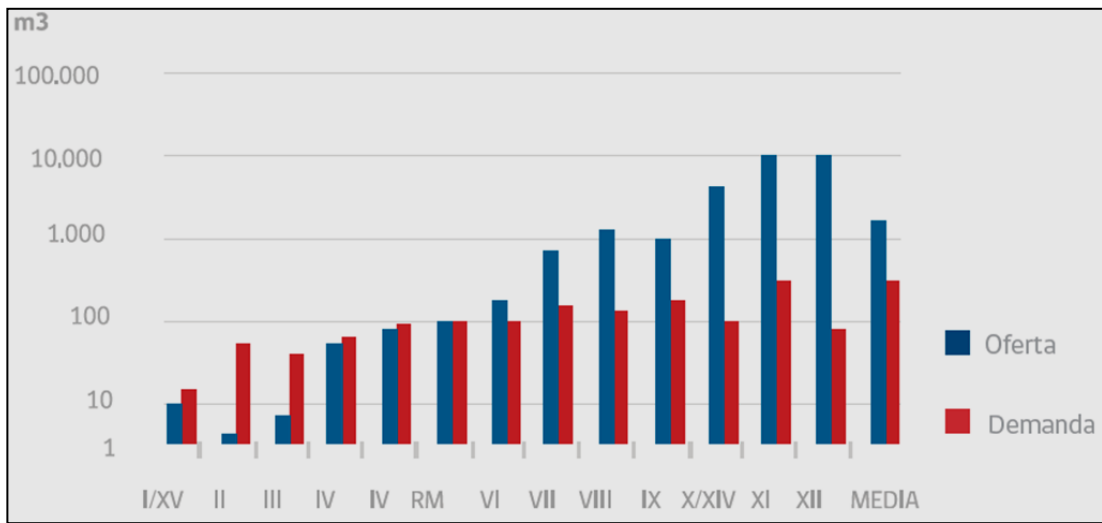


Gráfico 2-2 Disponibilidad de agua en Chile por habitante al año 2009.

Fuente: Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025, MOP, 2012.

2.3 ¿QUÉ USO SE LE DA AL AGUA EN NUESTRO PAÍS?

Como se observa en la siguiente figura, el sector que consume más agua, es el agrícola (78%); le siguen: el consumo industrial (12%), el consumo humano (6%), y el de la minería (4%).

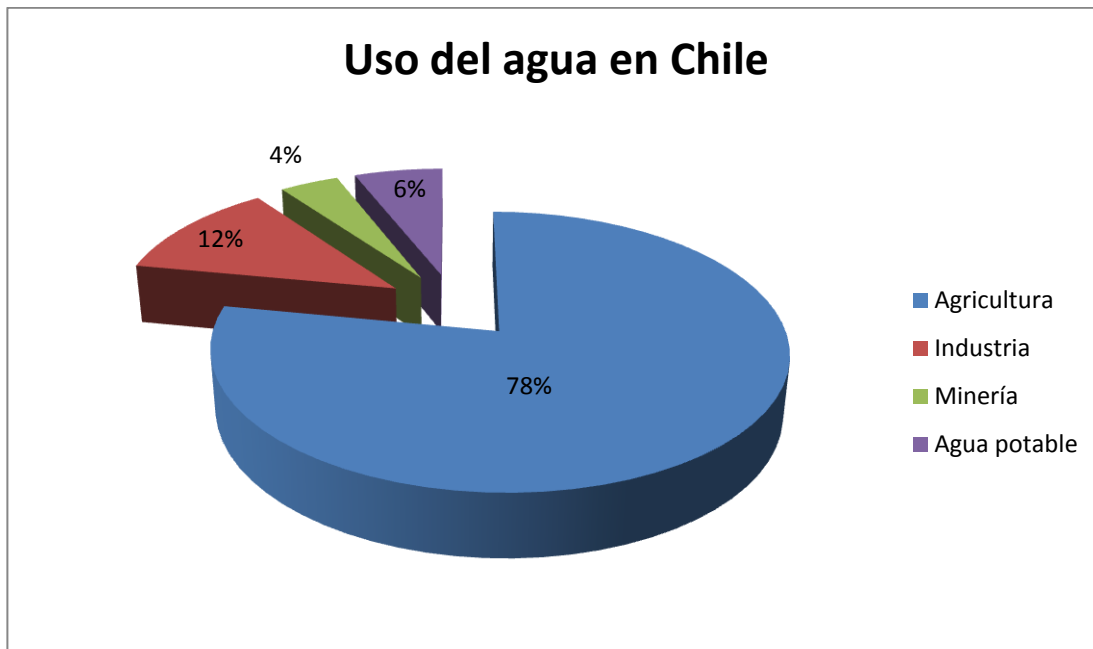


Gráfico 2-3 Uso del agua en Chile.

2.4 EL CICLO DEL AGUA

El ciclo del agua en la Tierra es el proceso por el que el agua se mueve desde el aire hasta la tierra (precipitaciones en forma de nieve y/o lluvia) y finalmente vuelve a la atmósfera (evaporación).

Los principales componentes naturales de este ciclo son las precipitaciones, la infiltración en el suelo, la escorrentía de superficie, la liberación de aguas subterráneas hacia aguas superficiales y océanos, así como la evapotranspiración de los cuerpos de agua, el suelo y las plantas.

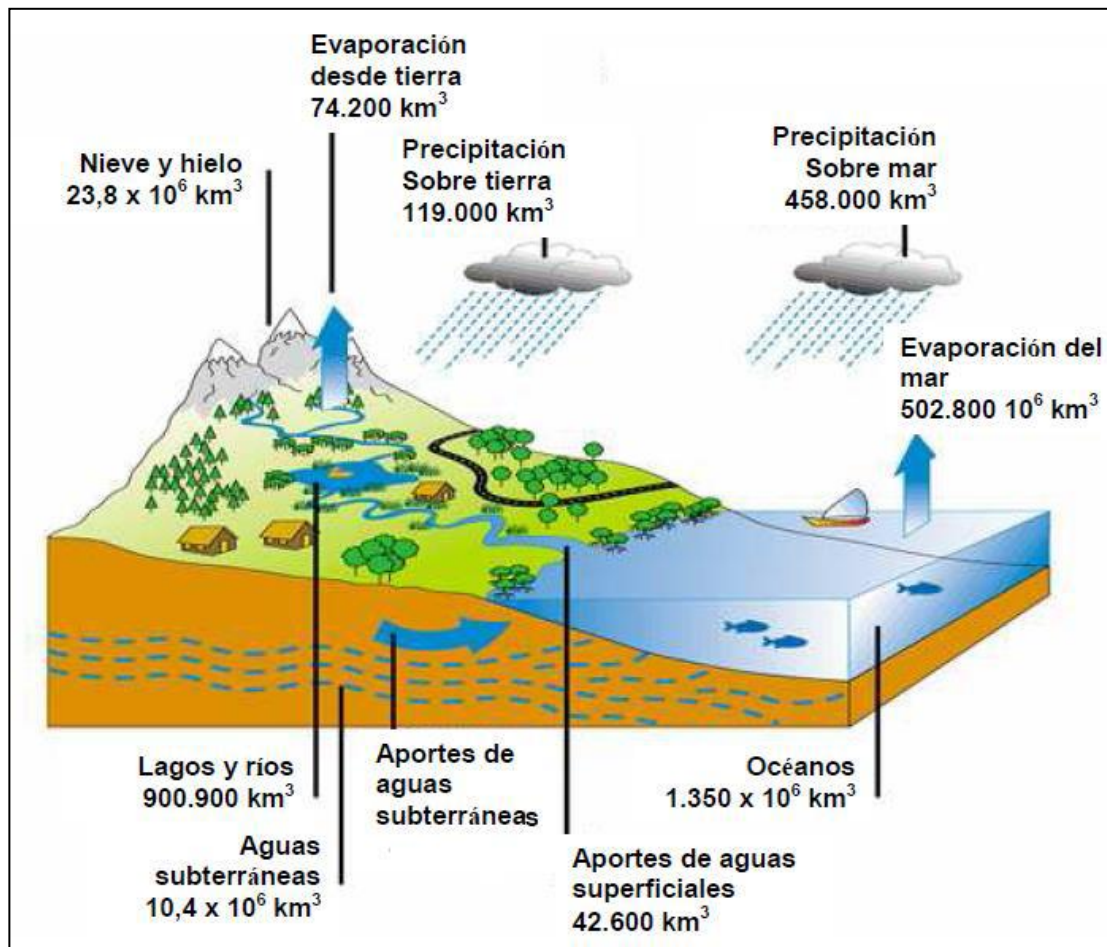


Figura 2-3 Ciclo Hidrológico. Fuente, Gestión Integrada de cuencas hidrográficas, O. Parra-EULA, 2009.

2.5 EL CICLO URBANO DEL AGUA

Dependiendo de la región donde nos encontremos, el agua que suministran las empresas sanitarias Essbio y Nuevosur proviene de captaciones existentes en las cuencas de los ríos Cachapoal, Tinguiririca, Mataquito, Maule, Itata, Biobío y costeras. Tras un proceso de potabilización se almacena en estanques, desde donde pasa a la red de distribución, para que llegue con la presión adecuada a cada hogar o empresa.

El agua ya utilizada en los hogares o empresas, se recibe con calidad disminuida a través de la red de alcantarillado, por lo cual se debe realizar un proceso de depuración que la devuelve al medio natural en condiciones óptimas. De este modo, al agua tratada se le da un nuevo uso tal como el de riego, industrial y de preservación de la naturaleza.



Figura 2-4 Ciclo urbano del agua.

En el ciclo urbano del agua se pueden distinguir las siguientes etapas:

2.5.1 Captación

En la etapa de captación se recoge el agua del medio natural. Las fuentes de agua pueden ser superficiales (ríos, esteros, lagos, arroyos, etc.) o subterráneas (napas subterráneas). El agua captada es conducida por gravedad, mediante cañerías de aducción, o por bombeo, a través de cañerías de impulsión, desde su fuente de suministro a las instalaciones de tratamiento.

2.5.2 Potabilización – Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP)

Corresponde al conjunto de instalaciones de potabilización necesarias para que el agua tenga la calidad necesaria para el consumo humano. El agua proveniente de las captaciones (agua cruda), normalmente no es apta para dicho uso, por lo cual debe someterse a tratamiento físico, químico y microbiológico, a fin de que cumpla con la Norma Chilena de Agua Potable NCH409 of.2005., garantizando su calidad para consumo de la población.

2.5.3 Transporte y Almacenamiento

Corresponde al conjunto de instalaciones y elementos de control que permite trasladar agua desde la PTAP hasta los estanques de almacenamiento denominados “estanques de regulación”.

2.5.4 Red de distribución

Corresponde al conjunto de tuberías y otros elementos (plantas relevadoras, válvulas, grifos, etc.) que conducen y distribuyen el agua desde los estanques de regulación hasta las viviendas (arranques domiciliarios).

2.5.5 Red de alcantarillado

Conjunto de tuberías y otros elementos (cámaras de inspección, plantas relevadoras, etc.) que permiten la evacuación de las aguas servidas desde las viviendas (uniones domiciliarias), hasta las instalaciones de depuración (PTAS).

2.5.6 Tratamiento – Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS)

Conjunto de instalaciones necesarias para tratar el agua recibida desde las redes de alcantarillado, hasta que el nivel de contaminación sea lo suficientemente bajo para devolverlo a la naturaleza, cumpliendo con la normativa vigente (Decreto Supremo 90).

2.6. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE



Figura 2-5 Esquema simplificado del proceso de producción de agua potable.

2.6.1 Pre-sedimentación

En algunas plantas existen procesos de pre-sedimentación, principalmente cuando las fuentes de captación son ríos torrentosos con altos niveles de turbiedad. El tipo de partículas que se logra remover en esta etapa de pre-tratamiento son principalmente partículas discretas tales como limo fino, arena u otras de densidad superior a la del agua. El proceso habitualmente no emplea el uso de productos químicos.

2.6.2 Coagulación- Floculación

Muchas de las impurezas o contaminantes del agua, ya sean de origen natural o generadas por la actividad humana, se presentan físicamente en estado disuelto o en suspensión, pudiendo presentarse en un amplio rango de tamaño. Las de mayor tamaño y peso, pueden ser separadas del agua aprovechando la acción de la fuerza de

gravidad, permitiendo la permanencia de las aguas durante un tiempo adecuado, en unidades en las que existan condiciones hidráulicas que favorezcan su sedimentación, como es el reducir las velocidades del flujo y evitar zonas de turbulencia. A este tipo de partículas se les denomina **Sólidos Sedimentables**.

Por el contrario, las partículas de menor tamaño, tales como arcillas finas, bacterias u otras, por su escaso peso no sedimentan rápidamente, y son denominadas **Sólidos no Sedimentables o Materia Coloidal**. En este caso, los procesos de tratamiento estarán destinados a formar partículas de mayor peso y tamaño que sean sedimentables o filtrables.

Por tanto, el propósito de los procesos de coagulación-floculación consiste en transformar aquellos sólidos no sedimentables o partículas coloidales, en sólidos sedimentables o filtrables que puedan ser separados del agua en procesos de tratamiento posteriores de sedimentación o filtración.

En la primera parte de este proceso, denominada **Coagulación**, el objetivo específico consiste en desestabilizar las condiciones propias de las partículas coloidales, que impiden que estas se junten entre sí, posibilitando la formación de partículas de mayor tamaño. En la segunda etapa, denominada **Floculación**, la finalidad que se persigue consiste en juntar las partículas ya desestabilizadas en la etapa anterior, de modo de aglomerarlas en partículas de mayor tamaño y peso. Los productos químicos empleados en el proceso de coagulación-floculación, pueden ser clasificados en forma general como coagulantes primarios y ayudantes de coagulación. Los coagulantes primarios neutralizan las cargas eléctricas de la superficie de las partículas coloidales, acción que se conoce como desestabilización de los coloides. Por su parte los productos ayudantes de coagulación cumplen la función de aglomerar las partículas coloidales, aumentando su densidad, por lo que normalmente son denominados también como productos floculantes. Cabe señalar que existen algunos productos que cumplen parcialmente ambas funciones. Este proceso se lleva a cabo en las unidades denominadas floculadores, que consisten en

estanques con agitación mecánica o canales paralelos a través de los cuales el agua escurre a diferentes velocidades, creándose en ambos sistemas la agitación de la masa líquida que posibilitará el choque entre las partículas coloidales coaguladas, que se unirán entre sí incrementándose su tamaño y peso. Estas nuevas partículas en suspensión logradas en el proceso de coagulación - floculación, reciben el nombre de **flóculos**.

2.6.3 Sedimentación (decantación)

La sedimentación es un fenómeno natural que ocurre por la acción de la fuerza de gravedad sobre los cuerpos o materiales que se encuentran en suspensión, y que tienen una densidad superior a la del agua. En el tratamiento del agua se ha aprovechado esta propiedad, diseñándose unidades de tratamiento denominadas sedimentadores o decantadores, las cuales permiten separar los sólidos en suspensión, en un tiempo razonable, reduciendo la carga de sólidos en la etapa posterior de filtración. Luego, el propósito fundamental de este proceso consiste en reducir el contenido de sólidos en suspensión, para hacer factible el proceso posterior de filtración.

Las unidades de sedimentación consisten en estanques que se diseñan para el ingreso del agua coagulada o floculada, y la reducción de la velocidad del flujo, permitiendo un régimen de flujo no turbulento y un periodo de residencia adecuado para permitir la sedimentación de los sólidos suspendidos.

La zona de almacenamiento de lodos se encuentra en el fondo de la unidad permitiendo su almacenamiento durante un tiempo prudente. Esta zona se diseña con cierta pendiente o en forma de tolva para permitir la acumulación y compresión de los lodos.

2.6.4 Filtración

El propósito fundamental del proceso consiste en remover partículas en suspensión, presentes en el agua, sean estas arcillas, bacterias, algas o flocs no retenidos en procesos previos tales como la sedimentación

En el proceso de filtración, el agua debe atravesar un material granular, denominado lecho filtrante, en el cual quedarán retenidas las impurezas o material en suspensión. Bajo el lecho filtrante existe normalmente un lecho de soporte, que permite sostener el lecho filtrante, y finalmente existirá un sistema de drenaje que permitirá retirar las aguas filtradas desde el filtro.

En términos generales, las aguas descienden a través del lecho, ya sea por acción de la fuerza de gravedad o bajo presión, y el material en suspensión va paulatinamente quedando retenido en el lecho filtrante, ocupando los poros o intersticios del material granular.

En la medida que dichos espacios van quedando obstruidos, va aumentando la resistencia al paso del agua, conocida como pérdida de carga, hasta que alcanza un nivel crítico en que la productividad del filtro ya no es adecuada. En esta condición culmina el ciclo de filtración, es decir el periodo de productividad del filtro, denominado también carrera de filtración, haciéndose necesario retirar todo el material en suspensión que quedó atrapado en el lecho filtrante. Dependiendo del tipo de filtro, esta limpieza se efectuará en el mismo filtro, invirtiendo el sentido de flujo dentro del lecho, y efectuando una operación de retrolavado, o retirando el lecho filtrante o una parte de éste para lavarlo.

2.6.5 Desinfección

Es el proceso mediante el cual se destruye gran cantidad de microorganismos y probablemente todas las bacterias patógenas que pueden estar presentes en el agua.

El método de desinfección más usado es la cloración. Si bien es el más común, también hay otros sistemas que se usan en otros países tales como: ozono, UV (radiación ultravioleta), dióxido de cloro, cloraminas. En Chile, por exigencia normativa se requiere de la adición de cloro para cumplir los requisitos de cloro residual en la red de distribución de agua.

El cloro, desinfectante más ampliamente utilizado, es una sustancia química peligrosa, pudiendo causar problemas graves de salud e inclusive la muerte del operador o de cualquier persona expuesta a un escape importante.

Cabe destacar que el incumplimiento significativo de los requerimientos de las normas del agua potable, frecuentemente se relaciona con la desinfección inadecuada.

2.7 PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS

2.7.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS SERVIDAS

Las aguas servidas son una mezcla que contiene un 99,9% de agua y un 0,1% de sólidos, y está constituida por: materia orgánica (suspendida y disuelta), nutrientes, compuestos químicos y microorganismos.

De acuerdo a su procedencia, las aguas servidas se clasifican en dos grandes grupos:

Aguas de desechos domésticos (proveniente de descargas de hogares y establecimientos comerciales e institucionales)

Aguas de desechos industriales (provenientes de descargas de industrias).

La composición química y biológica entre ambos grupos es muy variable.

Las **características físicas** más importantes de las aguas servidas son: **sólidos totales, turbiedad, temperatura, densidad, color y olor.**

Los **componentes químicos** de las aguas servidas, se clasifican en dos grandes grupos: **orgánicos** (biodegradable y no biodegradables) e **inorgánicos** (nutrientes y metales pesados), cuyas características son:

Biodegradables: su importancia radica en que si son descargados al medio ambiente sin tratamiento, su estabilización puede conducir a un agotamiento de las fuentes naturales de oxígeno, dando origen a condiciones sépticas.

No biodegradables: son contaminantes que tienden a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas servidas. Ejemplos típicos: plaguicidas.

Nutrientes: actúan como alimento para los microorganismos, sin embargo en exceso pueden causar problemas ambientales.

Metales pesados: sobre ciertas concentraciones (normalmente pequeñas), los convierten en sustancias tóxicas para la mayoría de las formas de vida.

Respecto a los **componentes biológicos**, las aguas servidas constituyen un **medio óptimo para el desarrollo de una gran diversidad de microorganismos**, los cuales juegan diferentes papeles en las etapas biológicas de su tratamiento.

En el diseño de una planta de tratamiento de aguas servidas es importante conocer los diferentes microorganismos que aparecen en sus distintas etapas, así como las condiciones ambientales bajo las cuales presentan su máximo potencial de crecimiento. Los principales organismos que intervienen en la purificación de las aguas servidas son bacterias, protozoarios y algas.

Las bacterias que se encuentran en las aguas servidas pueden clasificarse de manera general en dos grandes grupos:

Aquellas que intervienen en los procesos de degradación de la materia orgánica y que son una parte importante dentro del sistema de tratamiento.

Aquellas causantes de enfermedades y que deben ser eliminadas en las etapas.

2.7.2 Pre-tratamiento o Tratamiento Primario

Este tiene por objetivo principal la separación y eliminación de partículas de mediano y gran tamaño que vienen incorporadas en las aguas servidas, antes del inicio del tratamiento biológico. Por ello, el pre-tratamiento no constituye un tratamiento en sí, aun cuando elimina cierta contaminación, ya que su aplicación está orientada fundamentalmente a la protección tanto de los equipos, como de las operaciones subsiguientes.

El Pre-tratamiento está constituido por operaciones simples, desarrolladas sobre la base de separaciones físicas del tipo sedimentación y filtración. Las unidades de tratamiento primario más frecuentes en una planta de tratamiento son las siguientes:

2.7.2.1 Cámara de rejas

Son dispositivos con aberturas de tamaño uniforme, usado para retener o separar sólidos suspendidos de las aguas servidas, y para prevenir que pasen de un determinado punto del sistema. El elemento filtrante puede consistir en barras o barrotos paralelos, varillas, alambres o placas perforadas, y las aberturas pueden tener diversas formas, aunque generalmente son circulares o rectangulares.

2.7.2.2 Desarenador

Se ubica físicamente después de la cámara de rejas. Se utilizan para separar arenas y cualquier otro material pesado, cuya velocidad de sedimentación sea considerablemente superior a la de los sólidos putrescibles, presentes en las aguas servidas. Las aguas residuales contienen por lo general gran cantidad de sólidos inorgánicos tales como: arenas, cenizas y gravas. Las arenas pueden dañar las bombas por abrasión (desgaste producto de la fricción) y causar serios daños operacionales en los estanques de sedimentación y en la digestión de lodos. Generalmente corresponden a grandes canales en donde la velocidad disminuye lo suficiente para que se depositen los sólidos inorgánicos pesados, manteniéndose en suspensión el material inorgánico.

2.7.2.3 Desengrasador

Corresponden a estanques de permanencia corta, en los cuales se permite flotar en la superficie a las partículas con gravedad específica menor a la del agua. Son importantes los volúmenes de grasas que se vierten en los colectores, procedentes de garajes (desprovistos generalmente de decantadores de grasas antes de su vertido al sistema de alcantarillado), de las residencias, de lavaderos, etc. Las grasas pueden ocasionar muchos problemas en los procesos y unidades de tratamiento de aguas servidas, especialmente en los elementos y procesos posteriores.

2.7.3 Tratamiento Secundario

Es el proceso necesario de realizar para disminuir fundamentalmente la materia orgánica soluble y biodegradable, y la eliminación de nutrientes tales como el fósforo y nitrógeno. Este proceso se lleva a cabo mediante mecanismos biológicos, es decir, con la utilización de microorganismos como agentes depuradores.

En general, los sistemas de tratamiento secundario se clasifican de distintas formas, las que normalmente se basan en: la utilización de oxígeno como nutriente (aerobios y/o anaerobios), la disposición de los microorganismos (sistemas de biomasa suspendida y/o de biomasa fija), y la utilización del recurso suelo como soporte (sistemas convencionales y sistemas no convencionales).

2.7.3.1 Tratamiento convencional aerobio

Sistema de lodos activados: Consiste en un reactor denominado comúnmente tanque de oxidación, donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión en el agua residual a tratar. Es un proceso biológico de contacto, es decir, microorganismos vivos y sólidos orgánicos se mezclan en un medio ambiente propicio para la degradación aerobia. El ambiente aerobio en el reactor se logra mediante el uso de difusores y aire bajo flujo forzado o aireadores mecánicos superficiales, lo que permite que las bacterias facultativas y las aerobias consuman la materia orgánica, sintetizando a cambio nuevas células. El sistema de tratamiento de

AS más utilizado en Essbio SA., es el de lodos activados en su modalidad de aireación extendida.

Lagunas de estabilización: El tratamiento mediante lagunas de estabilización consiste en otorgar (en un espacio físico delimitado) un tiempo de residencia hidráulico determinado a las aguas residuales a tratar, esperando de este modo, mediante la acción de las bacterias y micro algas presentes en el medio, una degradación de la materia orgánica allí contenida. Este sistema constituye un método “natural” de tratamiento (llámese natural al sistema que no requiere energía externa para su normal funcionamiento) y se encuentra basado en los principios de la autodepuración de cuerpos de agua contaminados, tal como ríos y lagos.

2.7.3.2 Tratamiento no convencional de aguas residuales o Emisarios bajo el mar

Este sistema se basa en la descarga sumergida de las aguas servidas en algún punto del fondo marino, donde se den condiciones de dilución (profundidad) y dispersión (corrientes) adecuadas. El sistema consta básicamente de 3 fases: pre-tratamiento físico, transporte y pre-tratamiento biológico y tratamiento submarino propiamente tal.

El Pre-tratamiento Físico: cumple la función de extraer los sólidos de las aguas servidas, de tal manera que no ejerzan abrasión, obstrucción o decantación en las fases posteriores de tratamiento, y generar homogenización de los contaminantes al mezclarlos enérgicamente.

EL Transporte y Pre-tratamiento Biológico: en esta fase se transporta el agua desde la etapa de Pre-tratamiento Físico, hasta un punto del océano en que se den las características necesarias para la fase de Tratamiento Submarino. Las aguas tratadas físicamente llegan a una cámara o pozo de elevación, que les entrega la energía necesaria para generar la descarga en el fondo marino (normalmente bajo los 16 mts. de profundidad). Sin embargo debido al importante tiempo de residencia hidráulico del sistema de conducción, se verifica en éste un fenómeno natural de autodepuración

Tratamiento Submarino: en esta última fase del tratamiento, situada en el volumen de agua marina circundante al punto de descarga, se verifican las siguientes funciones:

Reducción de la contaminación orgánica y bacteriológica mediante procesos físicos asociados a la dispersión y dilución de las aguas servidas en el mar.

Reducción de la contaminación física y bacteriológica mediante procesos físicos y biológicos relacionados con diversos factores tales como: diferencias de temperatura, intensidad de la radiación ultravioleta, fenómenos de osmosis por la salinidad, efecto de algas productoras de antibióticos, etc.

Degradación de la materia orgánica por la acción de los organismos micro y macroscópicos que habitan en las inmediaciones de la descarga.



Figura 2-6 Esquema simplificado del proceso de tratamiento de aguas servidas.

CAPÍTULO 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y MARCO TEÓRICO

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y MARCO TEÓRICO

3.1 RESEÑA DEL SECTOR SANITARIO

La institucionalización del sector sanitario en nuestro país, se inicia por el año 1931, al crearse la **Dirección General de Agua Potable y Alcantarillado** dependiente del Ministerio del Interior, estableciendo criterios y normas legales de construcción. Luego en el año 1953, ésta Dirección refundida con el **Departamento de Hidráulica**, dependiente del **Ministerio de Obras Públicas**, se creó la **Dirección de Obras Sanitarias (D.O.S.)**, cuyas principales funciones asignadas fueron estudiar, proyectar, construir, reparar, conservar, explotar, mejorar y administrar los servicios de agua potable, alcantarillado y desagües, en cuya ejecución participen fondos del Estado.

La creación de la **D.O.S.** se orientaba a unificar en un sólo organismo las funciones relativas al suministro de agua potable y el servicio de alcantarillado, sin embargo, en la práctica dicha entidad compartía sus responsabilidades con otras instituciones, dependientes de distintos Ministerios.

Con respecto al sector rural, la supervigilancia y abastecimiento de agua para ésta población dispersa, soluciones de alcantarillado o saneamiento básico se atendían en la **Oficina de Saneamiento Rural** y la **Sección de Higiene Ambiental** del Ministerio de Salud Pública. Además, la **Oficina de Ingeniería Sanitaria de la Corporación de la Reforma Agraria** del Ministerio de Agricultura, habilitaba redes de agua potable para los asentamientos campesinos.

Una institucionalidad única para resolver los problemas sanitarios, urbano y rural, ocurrió el año 1977 creándose el Servicio Nacional de Obras Sanitarias - SENDOS actuando como institución autónoma del Estado, relacionada con el a través del MOP.

3.2 LA IMPORTANCIA DEL RECURSO DEL AGUA EN EL SER HUMANO

El agua es uno de los elementos indispensable para el desarrollo y subsistencia del ser humano. También es un elemento esencial para la existencia de cualquier tipo de vida, y cada día adquiere un rol preponderante en las actividades propias de los seres humanos, satisface las demandas de la agricultura, la minería, la industria, el abastecimiento de agua potable, los usos recreativos, etc.

El desarrollo y evolución humana, significa una creciente demanda de agua, principalmente por el crecimiento de la población y la elevación en el nivel de vida determinada por los consumos y abusos en su uso. Esta misma variable ha permitido el desarrollo industrial que significa un gran consumo de agua también.

Podemos concluir que las actividades sociales y económicas dependen de la disponibilidad del agua, por lo cual se requiere una adecuada gestión de ella para constar con bienestar humano, la producción de alimentos, la salud y la estabilidad política y social.

3.3 GENERALIDADES Y MARCO TEÓRICO

En la actualidad, la energía eléctrica representa aproximadamente la mitad de los costos operacionales de producción de agua potable en Essbio y Nuevosur, lo que indica el gran potencial de ahorro en este ítem. El presente trabajo de título pretende mejorar la eficiencia energética en los procesos de elevación de agua potable en la PEAP Andalué, teniendo como base las mediciones realizadas por la Subgerencia de Mantenimiento.

La conservación de la energía no se trata solo de ahorrar en los costos de electricidad. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

(OCDE) advierte que, dadas las tendencias actuales, las emisiones relacionadas con la energía aumentarán en un 70 por ciento para 2050. Esto puede acelerar las consecuencias negativas del cambio climático, incluyendo temperaturas más altas y un aumento de la frecuencia de eventos climáticos extremos

3.3.1 Problemas como el aumento de la huella de carbono

El efecto ambiental primario del uso excesivo de energía es un aumento en su huella de carbono, pero hay cambios simples que puede hacer en casa para evitar esto. Por ejemplo cosas básicas como si se mantiene los dispositivos enchufados y en funcionamiento cuando no están en uso, el resultado es un aumento en el uso eléctrico y, en consecuencia, un aumento en la cantidad de gases de efecto invernadero que ingresan a la atmósfera. Si deja su computadora portátil conectada todo el tiempo, usará casi 300 kilovatios hora (kWh) de electricidad cada año, y una computadora de escritorio que permanezca inactiva consumirá más de 600 kW de electricidad al año. Incluso dejando su teléfono celular completamente cargado conectado a su cargador puede desperdiciar casi 20 kWh al año, explica el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley.

3.3.2 Mayor riesgo de cambio climático

El carbón y el gas natural suministraron más de dos tercios de la energía en los EE. UU. en 2011. Cada forma de energía contribuye al total de emisiones de gases de efecto invernadero. Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), la combustión de combustibles fósiles representó más de 5,200 millones de toneladas métricas de dióxido de carbono equivalentes (MMT CO₂ Eq.) En 2009. Esta cifra representa un aumento del 10 por ciento con respecto a 1990. Además, las emisiones de metano del gas natural aumentó durante el mismo período en un 17 por ciento. Parte de este aumento se debe al uso descuidado de la electricidad. Estados Unidos desperdicia más de \$ 2 mil millones en energía cada año por iluminación exterior ineficiente solamente.

3.3.3 Reducción de la oferta

En áreas con altas densidades de población, el precio que se paga por la electricidad en el hogar está determinado por la oferta y la demanda. Algunas centrales eléctricas cobran más a los consumidores durante las horas punta. Su uso excesivo contribuirá a la escasez de este suministro de energía y, por lo tanto, a un aumento en los costos generales de electricidad. A largo plazo, el aumento de la demanda puede generar cargas adicionales en áreas ambientales amenazadas, como áreas costeras o refugios de vida silvestre, para garantizar recursos adecuados. La perforación de gas natural o la minería para que el carbón satisfaga las demandas excesivas de energía tendrá un impacto negativo en el medio ambiente

3.3.4 Costos de energía más altos

Una consecuencia natural del uso excesivo de energía es un aumento de los costos para usted. Esto puede venir en forma de facturas de combustible y energía; pagará más sin un rendimiento apreciable de su inversión. También puede arriesgarse a reducir la esperanza de vida útil de los electrodomésticos y otros dispositivos electrónicos. Cuando se tenga que reemplazar los dispositivos gastados, tendrá un mayor impacto en el medioambiente al generar desechos y comprar equipos de reemplazo. Su uso inteligente de la electricidad, por lo tanto, puede traducirse en ahorros a largo plazo en las facturas de energía en toda índole.

La energía es el más importante de todos los recursos, mientras que el concepto de sostenibilidad se centra en la supervivencia a largo plazo de las comunidades. La energía y la sostenibilidad tienen que tener un equilibrio. Estudios ecológicos incluyen el resultado del consumo de recursos y los sistemas de tecnología tienen para avanzar hacia la sostenibilidad. Básicamente, la energía se puede dividir en renovables y no renovables de energía.

La energía y la sostenibilidad se habían convertido en un aspecto importante y actual de la cuestión en torno a la global. La energía es un importante y esencial para continuar con el crecimiento económico y genera la riqueza del país.

Los recursos naturales son uno de los recursos que el ser humano consume para generar la energía. Pero la cuestión más importante es cómo la tecnología puede contribuir a generar la solución de mantenimiento de la sostenibilidad. La producción de energía primaria y el uso final de la energía y calidad de energía es el aspecto importante discutiendo acerca de los recursos energéticos y el uso. La principal producción de energía, en su mayoría proviene de los combustibles fósiles, mediante la conversión en una forma definitiva de suministro de energía y utilizados por las personas. Aparte de que otras fuentes de energía tales como fuentes térmicas y de fuentes hidroeléctricas y nucleares fuentes son consumidas por la nación.

La calidad de la energía, la planificación y las estrategias de uso de la energía es necesaria para que la energía en el planeta para ser sostenible. Además, el más importante es el de fuentes de energía renovables debe ser desarrolla y mejora. Por otro lado, el efecto secundario del consumo de la energía, tales como el agotamiento de los recursos, la gestión de los residuos, y la destrucción del medio ambiente debe tener en consideración.

3.3.5 Nuevo Recurso

La sostenibilidad implica el reconocimiento práctico de la necesidad mundial y la equidad intergeneracional, y la sostenibilidad es un concepto que se centra en la supervivencia a largo plazo de las comunidades. En la práctica, la sostenibilidad implica el aspecto social, el político, el económico y el medio ambiental.

Siguiendo con lo anterior podemos determinar que este trabajo de título pretende responder, aportar, mejorar, investigar y dilucidar conclusiones en situaciones o desempeños individuales como colectivos en referencia a la sociedad o entidad en la que nos desempeñamos; y así dar con las respuestas correctas a las diversas interrogantes que buscamos puntualizar y perfeccionar en la medida que estamos desarrollando este trabajo.

Las referencias descritas en los párrafos expuestos en el marco teórico denotan una conceptualización de los contenidos a modo de referencia actuales como

pasados y de cómo estos han generado una evolución a través del tiempo desde toda perspectiva ya sea desde un ámbito global, personal o a nivel energético entre otros parámetros los cuales dan cierto sustento al planteamiento del problema de la presente tesis de grado.

La necesidad de buscar mejoras continuas, tanto en grados innovadores, como de perfeccionamiento a los ya realizados busca un aumento exponencial en todo sentido de la palabra respecto de estas mejoras.

3.4 PROCESO INVESTIGATIVO

Según lo anterior podemos ver que desde la perspectiva del análisis expuesto, se requiere investigar los resultados anteriores de discusiones, conclusiones o análisis ya realizados en consideración a la necesidad del aumento de eficiencia energética en la PEAP Andalué. Por lo tanto nos queda preguntar:

3.4.1 ¿Qué rol y beneficios representaría la eficiencia energética en el funcionamiento de la PEAP Andalué?

Esta respuesta tan complicada nos lleva a analizar nuestros objetivos específicos, siendo estos la respuesta requerida y las necesidades a satisfacer en este proyecto de mejoramiento. Estos son:

- Disminuir el costo por concepto de la energía eléctrica consumida por la planta en un 30%.
- Actualizar y estandarizar los equipos para mejorar la confiabilidad de la planta.
- Elevar la capacidad de producción anual de la planta un 15% teniendo en cuenta el crecimiento demográfico de la zona de cobertura. (Actualmente se producen 1.000.000 [m³/año]).

3.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La principal finalidad del proyecto es aumentar la eficiencia para disminuir el consumo de energía eléctrica en la PEAP Andalué, mediante la instalación de nuevos equipos de bombeo de última tecnología y seleccionados a partir de mediciones realizadas al sistema.

Los equipos actualmente instalados, que operan con baja eficiencia, tienen costos específicos de bombeo entre 35 y 40 [CLP/m³], lo que se traduce en un costo anual de la energía de M\$ 38.000 para una producción de 1.000.000 [m³]. Instalando los nuevos equipos se estima que el costo específico será de 26 [CLP/m³], lo que se traduce en un costo operacional anual de M\$ 26.000 para la misma producción, generando un ahorro de 12.000.000 [CLP/año] (32% de ahorro en costo operacional en modalidad de trabajo 2+1).

Todo ello con el fin de poder hacer una revisión desde diversos puntos de acción como también un análisis y una interpretación en perspectiva a las diversas prácticas sobre el aumento de eficiencia energética en el bombeo de la PEAP Andalué.

3.6 INFRAESTRUCTURA SANITARIA

El sector urbano de la comuna de San Pedro de la Paz, es atendido por dos empresas de servicios sanitarios, ESSBIO S.A. y AGUAS SAN PEDRO S.A. Cada una de ellas atiende a los sectores incluidos dentro de sus respectivos Territorios Operacionales. Actualmente en los sectores rurales de esta comuna no existen asentamientos poblacionales y por lo tanto no existen servicios de agua potable rural. Desde hace algunos años el sector de Lomas Coloradas, que era considerado como servicio rural ha sido incorporado dentro del territorio atendido por ESSBIO S.A.

3.6.1 Abastecimiento de agua potable en la comuna de San Pedro de la Paz

Este sistema de agua potable se abastece mediante punteras localizadas en la ribera sur del río Biobío, aguas abajo del Puente Viejo.

Las aguas captadas son reguladas, previa cloración en el estanque Laguna Chica, desde donde se entregan al consumo y a otros puntos de regulación. Estas aguas reciben como único tratamiento una desinfección bactericida, mediante la aplicación de gas cloro, para posteriormente ser enviadas mediante una impulsión al estanque de regulación Laguna Chica. Este estanque alimenta a los sectores Camino a Santa Juana, Villa San Pedro y Huertos Familiares, al estanque Laguna Grande y a dos plantas reelevadoras que abastecen a los estanques Idahue y Andalué. El sector de Lomas Coloradas tiene su propio sistema de abastecimiento, aprovechando las instalaciones que tenía el servicio de agua potable rural. Este sistema considera pozos de captación, sistema de filtración y desinfección, sistema de regulación y red de distribución independiente de San Pedro.

De esta manera la red de distribución de agua potable se encuentra sectorizada en seis sub-sectores independientes:

- Sector Villa San Pedro – Huertos Familiares.
- Sector Candelaria – Boca Sur – Michaihue.
- **Sector Andalué.**
- Sector Camino a Santa Juana.
- Sector Idahue Alto.
- Sector Idahue Bajo.
- Sector Lomas Coloradas.

La red de distribución está constituida por alrededor de 200 Km de cañerías de diferentes materiales, principalmente asbesto-cemento y PVC, en diámetros que van

desde 75 mm hasta 600 mm. Este servicio cuenta con alrededor de 20.000 clientes residenciales, lo que representa una cobertura efectiva de un 99,7 %

3.6.2 Ubicación geográfica de la planta

La planta elegida para este estudio es la “Planta Elevadora de Aguas Servidas Andalué”, planta que estratégicamente pertenece al área denominada Costa Norte. Esta planta se encuentra ubicada en la subida Los Canelos en la comuna de San Pedro de la Paz, en el sector llamado Andalué, reconocido sector de alta plusvalía y meteórico aumento demográfico gracias a la construcción de muchos edificios, llevando esta situación a un aumento exponencial del consumo de agua potable.

Esta situación la convierte en una planta crítica en cuanto a sus índices de disponibilidad y confiabilidad operacional.



Figura 3-1 Acceso Planta Elevadora de Agua Potable Andalué.

La planta opera 24 Hrs. al día, todos los días del año elevando agua potable hacia el estanque llamado del mismo nombre ubicado en el Camino El Venado.



Figura 3-2 Estanque Andalué ubicado en la subida El Venado.

3.6.3 Funcionamiento de una Planta Elevadora de Agua Potable

Las plantas elevadoras tienen como propósito tomar la energía de la red eléctrica o de un equipo generador, para transformarla en energía mecánica que es aprovechada por el agua para elevarse por un sistema de cañerías. En las instalaciones de agua potable se usan generalmente tres tipos de bombas, pudiendo ser centrífugas, de pistón y rotatorias. Esta clasificación se hace en función de sus características constructivas, sin embargo, el uso que se da a cada tipo tiene que ver con ciertas condiciones de trabajo.

Una planta elevadora puede poseer una configuración de una o más bombas, en serie o paralelo, actuando simultáneamente o disponiendo de unidades de reserva. Las unidades de reserva son aquellas que entran en operación ante la posible falla en una de las bombas.

3.6.4 Condición actual de operación

En términos generales la planta cuenta con un pozo de un volumen útil de 113 m³ en el cual operan 3 conjuntos motor bomba, de los cuales 2 son marca Imbil de 92 Kw de potencia al eje y la tercera es marca Leader también de 92 Kw; en donde las 3

operan de forma paralela y una queda en condición stand by. Cabe recordar que la rotación en la operación es para los tres equipos. La impulsión es de 200 mm. Y la curva corresponde a un punto de operación de 39 - 42 l/s. por cada bomba, a una altura total dinámica de 110 - 112 mca.

Debemos mencionar que para este estudio el equipo 1 actualmente se encuentra fuera de servicio.

| BOMBAS | | | | |
|-----------------|------------------|----------------|----------------|-----------------|
| | <i>Bomba 1</i> | <i>Bomba 2</i> | <i>Bomba 3</i> | <i>Unidades</i> |
| Marca | Leader | Imbil | Imbil | |
| Modelo | EL 80 320 150 HP | BEW 80/3 | BEW 80/3 | |
| Altura | 112 | 110 | 110 | [m] |
| Caudal | 45 | 39 | 39 | [l/s] |
| Potencia | 92 | 92 | 92 | [kW] |

Tabla 3-1 Equipos actualmente en planta.

En base a estas mediciones, se han obtenido las eficiencias de los equipos y sus correspondientes costos operacionales de acuerdo a la información de la siguiente tabla:

| Bomba | Eficiencia η | Tiempo op./año | Caudal | Volumen Bombeado | Costo Específico | Costo Operacional |
|------------------------|-------------------|----------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| | [-] | [hrs] | [m ³ /h] | [m ³ /año] | [CLP/m ³] | [CLP/año] |
| Nº1 | 0,53 | 3.216 | 161,2 | 518.408 | 35,56 | 18.436.072 |
| Nº2 | 0,46 | 3.420 | 141,1 | 482.687 | 40,63 | 19.609.204 |
| Nº3 | - | 0 | - | - | - | - |
| Total [CLP/año] | | | | | | 38.045.275 |

Tabla 3-2 Tiempos operacionales en base a horómetros.

Debido a la antigüedad de los equipos de la planta, se han obtenido bajos valores de eficiencia (53% y 46% respectivamente), los que se reflejan en un alto

costo operacional de M\$ 38.000 para 1.000.000 [m³] al año de producción aproximadamente.

Además, los equipos 2 y 3 se encuentran sobrecargados, debido al mal dimensionamiento de los motores, que son de menor tamaño al necesario para las bombas (Motores de 75 Kw consumiendo 92 Kw).

Lo anterior y de acuerdo a información obtenida de personal de Essbio SA., se debe a que los equipos han sido reparados en múltiples ocasiones y al no tener placas del motor se podría haber hecho mal el cálculo del bobinado de los motores objeto quizás aumentar velocidad de giro y así obtener mayor caudal de elevación.

Esta situación podría generar una falla del equipo afectando a la provisión de agua de la zona afectada.

CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN ECONÓMICA

4. EVALUACIÓN ECONÓMICA

4.1 CONDICIONES DE OPERACIÓN ACTUAL

La siguiente tabla muestra en forma resumida la condición actual de operación de la planta. Esta presenta los valores nominales placa en sus dos modos de operación.

| Modalidad de Operación | Q | Altura | Eficiencia Bomba | Eficiencia Motor | Potencia consumida |
|------------------------|-------|--------|------------------|------------------|--------------------|
| | [l/s] | [m] | [%] | [%] | [KW] |
| 1 Bomba | 51 | 114 | 53 | 95,8 | 78 |
| 2 Bombas en paralelo | 86 | 129 | 46 | 95,8 | 148 |

Tabla 4-1 Condiciones de operación actual.

4.1.1 Descripción de equipo en servicio

El modelo utilizado para elevación es una bomba Multietapa marca Imbil, modelo BEW 80/3 de 92 Kw, 110 mca., 39 l/s., 140.4 m³/hr., de acuerdo a valores dinámicos derivados de la medición efectuada en terreno.

Debido a la antigüedad de los equipos en planta se ha tomado como referencia el equipo más acorde con los existentes en planta, para que la referencia sea más exacta al momento de comparar.

De acuerdo a este análisis se quiere demostrar que los equipos se encuentran en mal estado de operación y que su rendimiento merma la cantidad de agua potable que se eleva al estanque Andalué, pudiendo con esto generarse una condición crítica de niveles respecto del consumo de agua a causa del explosivo aumento demográfico del sector que se calcula aproximadamente 18.4 % en cuanto a habitantes y un 36.4 % en vivienda.

En la figura siguiente podemos ver la diferencia entre el caudal obtenido marcado en rojo con respecto al necesario marcado en verde en cuanto a altura. Debiendo entrar un segundo equipo en funcionamiento para cumplir este requerimiento.

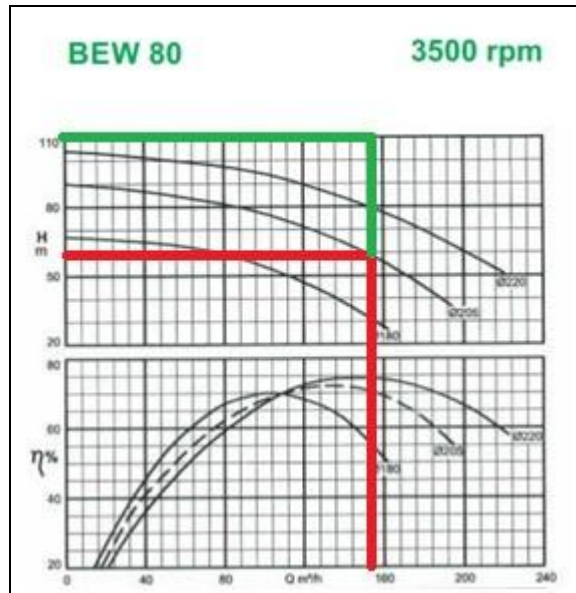


Figura 4-1 Curva de funcionamiento equipo Imbil.

4.2 COSTO OPERACIONAL ANUAL

A continuación se muestra un resumen del costo operacional de la planta mostrando individualmente los valores de los 2 equipos actualmente en servicio.

| COSTO OPERACIONAL ANUAL ¹ | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------|----------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| Bomba | Eficiencia η | Tiempo op./año | Caudal | Volumen Bombeado | Costo Especifico | Costo Operacional |
| | [-] | [hrs] | [m ³ /h] | [m ³ /año] | [CLP/m ³] | [CLP/año] |
| N°1 | 0,53 | 3.216 | 161,2 | 518.408 | 35,56 | 18.436.072 |
| N°2 | 0,46 | 3.420 | 141,1 | 482.687 | 40,63 | 19.609.204 |
| N°3 | - | 0 | - | - | - | - |
| Total [CLP/año] | | | | | | 38.045.275 |

¹ Tiempos operacionales en base a horómetros

Tabla 4-2 Costo operacional anual.

4.3 AHORROS POTENCIALES

A continuación se dará a conocer el detalle de ahorro en el consumo eléctrico derivado de cada grupo de equipos investigados.

4.3.1 Ahorro con equipo KSB MULTITEC

Con este conjunto de equipos es posible obtener un ahorro correspondiente a la suma de \$12.369.094 que equivale a un 74%.

Nuevos equipos con eficiencia total (motor-bomba) 74% **KSB MULTITEC**

| Bomba | Eficiencia η | Volumen Bombeado | Costo Específico | Costo Operacional | Ahorro Anual | Variación Costo |
|------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| | [-] | [m ³ /año] | [CLP/m ³] | [CLP/año] | [CLP/año] | [-] |
| N°1 | 0,74 | 333.698 | 25,65 | 8.558.727 | | |
| N°2 | 0,74 | 333.698 | 25,65 | 8.558.727 | | |
| N°3 | 0,74 | 333.698 | 25,65 | 8.558.727 | | |
| Total [CLP/año] | | | | 25.676.181 | 12.369.094 | -33% |

Tabla 4-3 Ahorro con equipo KSB MULTITEC de 74%.

4.3.2 Ahorro con equipo GRUNDFOS

Con este conjunto de equipos es posible obtener un ahorro correspondiente a la suma de \$10.534.417 que equivale a un 69%.

Nuevos equipos con eficiencia total (motor-bomba) 69% **GRUNDFOS**

| Bomba | Eficiencia η | Volumen Bombeado | Costo Específico | Costo Operacional | Ahorro Anual | Variación Costo |
|------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| | [-] | [m ³ /año] | [CLP/m ³] | [CLP/año] | [CLP/año] | [-] |
| N°1 | 0,69 | 333.698 | 27,48 | 9.170.286 | | |
| N°2 | 0,69 | 333.698 | 27,48 | 9.170.286 | | |
| N°3 | 0,69 | 333.698 | 27,48 | 9.170.286 | | |
| Total [CLP/año] | | | | 27.510.858 | 10.534.417 | -28% |

Tabla 4-4 Ahorro con equipo GRUNDFOS de 69%.

4.3.3 Ahorro con equipo VÖGEL

Con este conjunto de equipos es posible obtener un ahorro correspondiente a la suma de \$12.085.359 que equivale a un 73%.

| Nuevos equipos con eficiencia total (motor-bomba) | | | | 73% VOGEL | | |
|---|-------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| Bomba | Eficiencia η | Volumen Bombeado | Costo Específico | Costo Operacional | Ahorro Anual | Variación Costo |
| | [-] | [m ³ /año] | [CLP/m ³] | [CLP/año] | [CLP/año] | [-] |
| N°1 | 0,73 | 333.698 | 25,93 | 8.653.305 | | |
| N°2 | 0,73 | 333.698 | 25,93 | 8.653.305 | | |
| N°3 | 0,73 | 333.698 | 25,93 | 8.653.305 | | |
| Total [CLP/año] | | | | 25.959.916 | 12.085.359 | -32% |

Tabla 4-5 Ahorro con equipo VÖGEL de 73%.

4.3.4 Ahorro con equipo KSB ETANORM

Con este conjunto de equipos es posible obtener un ahorro correspondiente a la suma de \$10.572.207 que equivale a un 69%.

| Nuevos equipos con eficiencia total (motor-bomba) | | | | 69% KSB ETANORM | | |
|---|-------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| Bomba | Eficiencia η | Volumen Bombeado | Costo Específico | Costo Operacional | Ahorro Anual | Variación Costo |
| | [-] | [m ³ /año] | [CLP/m ³] | [CLP/año] | [CLP/año] | [-] |
| N°1 | 0,69 | 333.698 | 27,44 | 9.157.689 | | |
| N°2 | 0,69 | 333.698 | 27,44 | 9.157.689 | | |
| N°3 | 0,69 | 333.698 | 27,44 | 9.157.689 | | |
| Total [CLP/año] | | | | 27.473.068 | 10.572.207 | -28% |

Tabla 4-6 Ahorro con equipo KSB ETANORM DE 69%.

4.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS MEJORAS INCLUYENDO PIPING Y MONTAJE

4.4.1 Considerando compra de bombas KSB MULTITEC

| | |
|---------------------|------------------|
| Costo Bomba + Motor | 42.546,00 [USD] |
| | 25.527.600 [CLP] |
| Costo Instalación | 7.523.280 [CLP] |

| | |
|------------------------|-------------------------|
| Modificación Piping | 3.000.000 [CLP] |
| Total inversión | 36.050.880 [CLP] |
| Tasa de dcto. | 10% |

| | | |
|---------------------|-------------------|---------------|
| Payback time | 2,91 | [años] |
| VAN a 5 años | 10.837.719 | [CLP] |
| TIR | 21% | |

4.4.2 Considerando compra de bombas GRUNDFOS

| | |
|------------------------|-------------------------|
| Costo Bomba + Motor | 41.572,34 [USD] |
| | 24.943.404 [CLP] |
| Costo Instalación | 7.523.280 [CLP] |
| Modificación Piping | 3.000.000 [CLP] |
| Total inversión | 35.466.684 [CLP] |
| Tasa de dcto. | 10% |

| | | |
|---------------------|------------------|---------------|
| Payback time | 3,37 | [años] |
| VAN a 5 años | 4.467.046 | [CLP] |
| TIR | 15% | |

4.4.3 Considerando compra de bombas VÖGEL

| | |
|------------------------|-------------------------|
| Costo Bomba + Motor | 40.611,20 [USD] |
| | 24.366.720 [CLP] |
| Costo Instalación | 7.523.280 [CLP] |
| Modificación Piping | 3.000.000 [CLP] |
| Total inversión | 34.890.000 [CLP] |

Tasa de dcto. 10%

| | | |
|---------------------|-------------------|---------------|
| Payback time | 2,89 | [años] |
| VAN a 5 años | 10.923.020 | [CLP] |
| TIR | 22% | |

4.4.4 Considerando compra de bombas KSB ETANORM

| | |
|------------------------|-------------------------|
| Costo Bomba + Motor | 40.075,00 [USD] |
| | 24.045.000 [CLP] |
| Costo Instalación | 7.523.280 [CLP] |
| Modificación Piping | 3.000.000 [CLP] |
| Total inversión | 34.568.280 [CLP] |
| Tasa de dcto. | 10% |

| | | |
|---------------------|------------------|---------------|
| Payback time | 3,27 | [años] |
| VAN a 5 años | 5.508.703 | [CLP] |
| TIR | 16% | |

4.6 RESUMEN EVALUATIVO

4.6.1 Equipo seleccionado

De acuerdo a lo analizado, nuestra mejor opción es la bomba superficial horizontal multietapa marca **VÖGEL PUMPEN** con **impulsor cerrado**, equipo es fabricado en bronce fundido ideal para ser usada en aplicaciones en donde se requieran grandes alturas como por ejemplo la PEAP Andalué. Su motor eléctrico tipo jaula de ardilla es trifásico de 50 Hz para un máximo de 15 partidas por hora y su estator está aislado de acuerdo a la clase H (180°).

4.6.2 Características generales y curva del equipo seleccionado

En la siguiente tabla se indican en forma resumida las principales características del equipo seleccionado de acuerdo a información obtenida del fabricante.

| | |
|--------------------------------|------------------------------|
| MODELO | MPA 100.2/2A-SAA-9002 |
| TIPO | Multietapa horizontal |
| N° DE ETAPAS | 2 |
| CAUDAL (l/s) | 43 |
| ALTURA (m) | 129 |
| POTENCIA MOTOR (Kw.) | 90 |
| CORRIENTE NOMINAL (A) | 159 |
| EFICIENCIA | IE3 (Eficiencia superior) |
| ACOPLE | Flexible sin espaciador |
| MARCA MOTOR | WEG |
| RENDIMIENTO HIDRAULICO (%) | 76,4 |
| RENDIMIENTO MOTOR (%) | 95,8 |
| POTENCIA CONSUMIDA (Kw.) | 74,2 |
| VOLTAJE / FREC. / FASES (Volt) | 400/50/3 |
| RPM | 2975 |
| CONEXIÓN DESCARGA | 100 |

Tabla 4-7 Características generales del equipo seleccionado

En la figura siguiente podremos ver la curva de operación del equipo seleccionado y el punto de operación necesario para nuestra planta.

Podemos ver que de acuerdo al punto de operación requerido el equipo presentaría un rendimiento hidráulico que alcanzaría un 76.4 %, muy superior al que tenemos actualmente en planta.

Para el estudio, finalmente, se tomaron como referencia los valores indicados en esta curva, es decir, 43 l/s a una altura de 129 m. con un consumo teórico estimado de 76.4 Kw.C

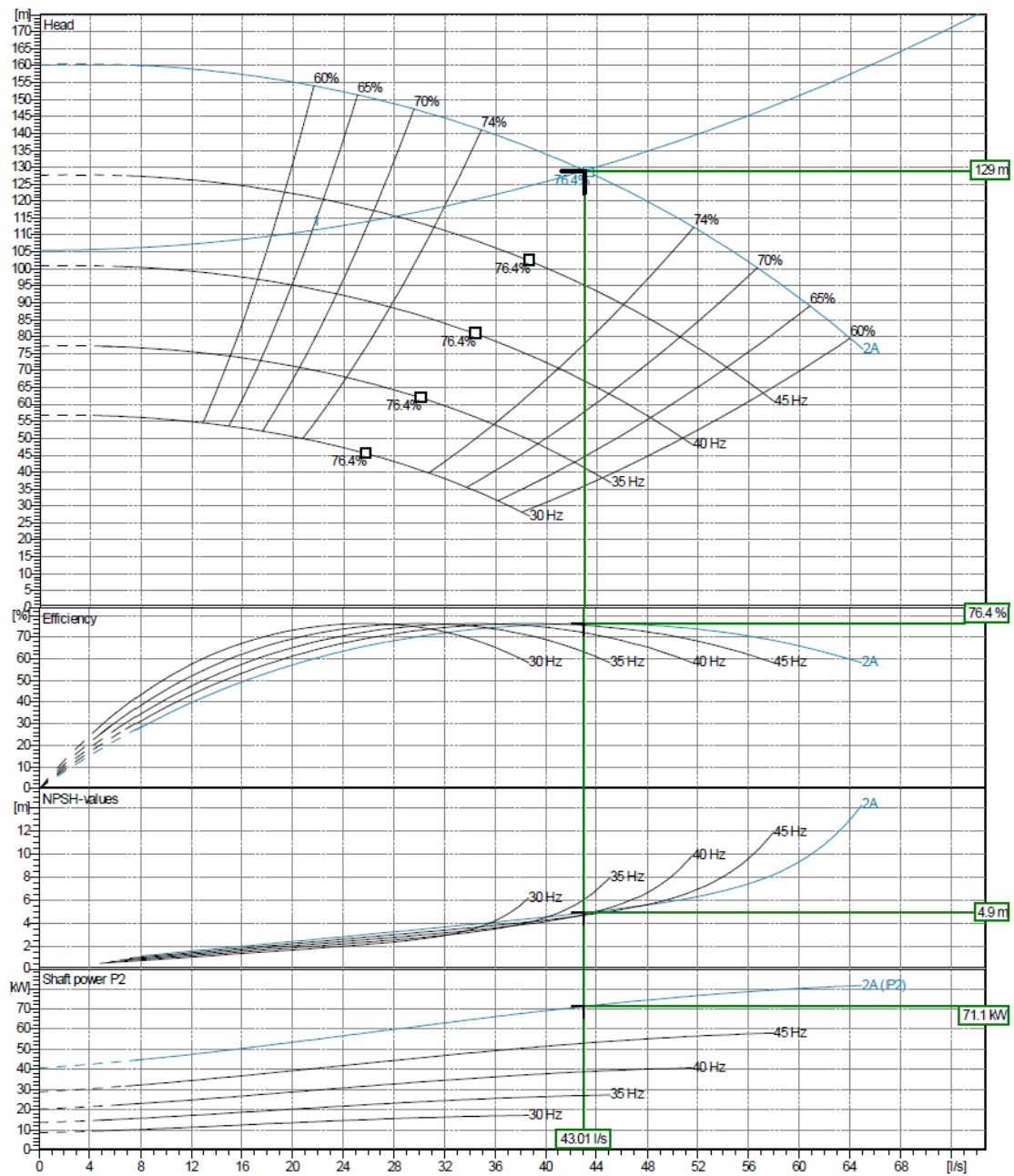


Figura 4-2 Curva de funcionamiento equipo Vögel seleccionado.

4.6.3 Resumen económico

De acuerdo a los valores que se muestran en la siguiente tabla podemos determinar que de acuerdo a los resultados técnico/económicos obtenidos en nuestra

investigación, se ha llegado a determinar que la mejor opción son las Bombas Vögel Multietapa Horizontal MPA 100.2/2A-SAA-9002 de fabricación Austriaca, cuyo **Payback Time** es de **2.89 años**, considerando una inversión total en pesos chilenos de **\$34.890.000.** y el aumento de caudal elevado debiera llegar al **10% más.**

A continuación tabla la tabla comparativa de evaluaciones económicas.

| Comparativa Evaluaciones Económicas | | | | |
|--|----------------|-----------------|--------------|----------------|
| | KSB MTC | Grundfos | Vögel | KSB ETN |
| Inversión [CLP] | 36.050.880 | 35.466.684 | 34.890.000 | 34.568.280 |
| Ahorro [CLP/año] | 12.369.094 | 10.534.417 | 12.085.359 | 10.572.207 |
| Payback Time [AÑOS] | 2,91 | 3,37 | 2,89 | 3,27 |
| TIR | 21% | 15% | 22% | 16% |
| VAN [CLP] | 10.837.719 | 4.467.046 | 10.923.020 | \$ 5.508.703 |

Tabla 4-8 Comparativa de evaluaciones económicas.

CONCLUSIÓN

Resulta evidente que la implementación del presente proyecto investigativo cuenta con necesidad y urgencia prioritarias para ser implementado, y los efectos de dicha implementación beneficiarán no sólo a personas que actualmente viven en el sector, sino también a las áreas donde se desarrollan nuevos proyectos inmobiliarios, por lo que se considera que la pertinencia de la implementación del proyecto es alta.

No obstante, existen varios puntos que necesitan ser estudiados con más detalle y profundidad, de manera que el contenido de este trabajo resulte adecuado para aplicar el financiamiento con cargo al presupuesto 2019, por lo que es deseable elevar más la precisión de la información mediante estudios posteriores de mayor complejidad.

Debido a los altos consumos eléctricos en las plantas de Essbio, el poco control de la demanda en período punta y pérdida de eficiencia de los equipos por sus años de vida, el presente trabajo ha pretendido entregar una alternativa para disminuir el consumo de energía eléctrica (Kwh) asociado a la PEAP Andalué, de acuerdo a la solución propuesta en el presente informe para disminuir el gasto energético, a través del aumento de la eficiencia de los equipos de bombeo.

En la base a la evaluación económica realizada, donde se muestran los resultados para la mejor propuesta, se puede concluir que es factible ejecutar el proyecto y obtener un ahorro en el costo operacional de un 30% y mediante el ahorro pagar el cambio de equipos en menos de 3 años.

De acuerdo a los antecedentes recopilados y cálculos realizados se puede llegar a la conclusión de que la mejor opción para instalación, considerando parámetros eléctricos, hidráulicos y de costo, es la alternativa correspondiente al conjunto motor-bomba marca Vögel proporcionados por la empresa Xylem Water Solutions Chile SA.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuña Alex, Manual “Características de las aguas servidas”, Essbio SA., 2014.
- Alarcón Eduardo – Wartenberg Verónica, Manual “Introducción al proceso de potabilización del agua”, Essbio SA., 2013.
- Badilla Christian, Manual “Tratamiento Primario”, Essbio SA., 2013.
- Banco Mundial, “Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos en Chile”, 2011.
- Canessa Ennio, Manual “Tratamiento secundario”, Essbio SA., 2012.
- Dirección General de Aguas, “Código de Aguas”, 2005.
- Ministerio del Interior y de Seguridad Pública, “Política nacional para los recursos hídricos, 2015.
- UNESCO, “Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo”, 2014.