

**Universidad de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil Industrial**



Propuesta de diseño para un sistema de tratamiento de aguas grises para ser reutilizadas considerando la Huella Hídrica en la Escuela Naval “Arturo Prat”, Valparaíso, Región de Valparaíso

Por

Mauricio Andrés Urra Carbonell

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

Profesor Guía: Samuel Varela

Abril, 2017

Agradecimientos

En primer lugar agradecer a mi familia, en especial a mi madre, debido a que sin su apoyo, es inimaginable escribir estas líneas. Les agradezco por todas las veces que me presionaron, en todos esos momentos que me escuchaban, me prestaban atención y mostrar interés en lo que yo hacía. A mi madre, agradecerle por quitarme presión, en aquellos momentos en que me angustiaba, y siempre ayudarme a poner las cosas en perspectiva.

También agradezco a mi profesor guía Samuel Varela por sus valiosas contribuciones y confianza en el tema, para llevar a cabo este trabajo de título.

A mis compañeros de la Universidad, que hicieron grato y el tiempo vivido en esta Facultad. Por ser ellos quienes se desvelaron conmigo, y por estar siempre dispuestos a explicarme, enseñarme o escucharme cuando así lo requerí.

También debo agradecer a mis amigos de toda la vida, los que me hacían olvidar los fines de semana la carga de la semana y me entregaban sus energías para continuar. Además de su constante presión para poder seguir adelante y no flaquear.

Debo agradecer al Sargento Primero Javier Figueroa, encargado del área de sustentabilidad de la Escuela Naval "Arturo Prat", por haberme ayudado y a su disponibilidad en el desarrollo de este tema, y a Cristian Bravo, Asesor de obras civiles de la Escuela Naval "Arturo Prat", por haberme guiado y apoyado en este tema.

A Camila, mi fiel compañera le agradezco todos esos momentos de aliento, en los que me encontraba angustiado, por contenerme y darme esa medida ante la desesperación. Además por su amor incondicional, muchas gracias.

Gracias también a la familia Rubio Rosales, por acogerme todos estos años, por ayudarme con una palabra de aliento y por todos sus cariños.

Y a todos quienes son o han sido importantes en mi vida, influyendo sin duda en esta etapa que hoy termina. Gracias a todos.

Índice

| | |
|--|-----------|
| ÍNDICE | 3 |
| LISTA DE ABREVIATURAS | 6 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 7 |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | 8 |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS | 9 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 9 |
| RESUMEN | 10 |
| ABSTRACT | 11 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 12 |
| 1.1. ANTECEDENTES DE LA ESCUELA NAVAL “ARTURO PRAT”. | 13 |
| 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 15 |
| 2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA ESCUELA NAVAL “ARTURO PRAT” | 17 |
| 2.1. PRONOSTICO DEL CONSUMO DE AGUA PARA EL AÑO 2016 | 20 |
| 2.2. EDIFICIO DE HABITABILIDAD OBTENCIÓN DE AGUAS GRISES | 24 |
| 3. OBJETIVOS | 29 |
| 3.1. OBJETIVO GENERAL | 29 |
| 3.2. OBJETIVO ESPECIFICO | 29 |
| 3.3. ALCANCE | 30 |
| 3.4. ANÁLISIS DEL FODA | 31 |
| 4. MARCO TEÓRICO | 32 |
| 4.1. AGUAS GRISES | 32 |
| 4.1.1. DIFERENCIAS ENTRE AGUAS NEGRAS Y AGUAS GRISES | 32 |
| 4.2. COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS GRISES | 33 |

| | |
|--|------------------|
| 4.2.1. ANTECEDENTES AGUAS GRISES | 35 |
| 4.2.2. PRECAUCIONES Y CONSIDERACIONES PARA LA SALUD | 35 |
| 4.3. CARACTERÍSTICAS DE AGUAS GRISES SEGÚN ORIGEN | 36 |
| 4.4. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES | 37 |
| 4.4.1. CÓMO FUNCIONAN LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES PARA EL RIEGO DE JARDINES Y ÁREAS VERDES | 38 |
| 4.5. MODELO DE REÚSO DE AGUAS | 42 |
| 4.6. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA | 44 |
| 4.7. RIESGOS A LA SALUD Y MEDIOAMBIENTE | 46 |
| 4.7.1. EFECTOS EN EL MEDIO AMBIENTE. | 47 |
| 4.8. TIPOS DE FILTROS PARA SISTEMAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS | 48 |
| 4.9. NORMAS APLICABLES A AGUAS GRISES | 51 |
| 4.10. APLICACIÓN A CASOS EN CHILE | 52 |
| 4.10.1. SITUACIÓN DE OTROS PAÍSES | 54 |
| <u>5. METODOLOGÍA</u> | <u>55</u> |
| 5.1. INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD Y LA HUELLA HÍDRICA. | 55 |
| 5.2. LA HUELLA HÍDRICA Y SU CICLO DE VIDA | 57 |
| 5.3. CONTABILIDAD DE LA HUELLA HÍDRICA. | 58 |
| 5.4. HUELLA HÍDRICA VERDE | 59 |
| 5.5. HUELLA HÍDRICA AZUL | 59 |
| 5.6. HUELLA HÍDRICA GRIS | 60 |
| 5.7. CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA | 61 |
| 5.7.1. IDENTIFICAR LAS UNIDADES A EVALUAR | 61 |
| 5.7.2. BALANCE DE MASA | 61 |
| 5.7.3. RECOLECCIÓN DE DATOS | 62 |
| <u>6. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA</u> | <u>64</u> |
| 6.1. CÁLCULO DE LOS CAUDALES Y VOLÚMENES PARA DIMENSIONAR EL SISTEMA DE TRATAMIENTO | 67 |
| 6.2. CÁLCULO Y DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS VERDES A REGAR | 72 |
| 6.3. CÁLCULO DE LA NECESIDAD DE AGUA POR M² DE ÁREAS VERDES | 76 |
| 6.4. CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA ESCUELA NAVAL “ARTURO PRAT” | 77 |
| 6.4.1. DEFINICIÓN DEL CASO DE ESTUDIO, ALCANCE Y LÍMITES DE LA HUELLA HÍDRICA | 77 |
| 6.4.2. DEFINICIÓN DE LOS PROCESOS PARA EL CASO DEL CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA | 77 |
| 6.4.3. DESARROLLO DE UN ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL PROCESO DE LAS DUCHAS Y LAVAMANOS Y DEL REGADÍO DE LAS ÁREAS VERDES | 77 |
| 6.4.4. DESARROLLO DE UN DIAGRAMA DE MANEJO DE AGUA EN LA ESCUELA NAVAL “ARTURO PRAT” BALANCE HÍDRICO PARA HH | 79 |
| 6.4.5. DEFINICIÓN DE LOS ALCANCES DE LA HUELLA HÍDRICA DEL PROCESO SELECCIONADO | 81 |
| 6.4.6. DATOS REQUERIDOS PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA | 82 |
| 6.4.7. HUELLA HÍDRICA AZUL EDIFICIO DE “HABITABILIDAD” | 83 |
| 6.4.8. HUELLA HÍDRICA GRIS EDIFICIO “HABITABILIDAD” | 84 |

| | |
|---|------------|
| 6.4.9. HUELLA HÍDRICA VERDE | 87 |
| 7. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES | 90 |
| 7.1. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES | 90 |
| 7.2. CALIDAD DEL AGUA TRATADA | 92 |
| 7.3. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO | 93 |
| 7.4. FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO | 93 |
| 7.5. INSTALACIÓN DEL EQUIPO | 96 |
| 7.6. MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA | 99 |
| 7.7. DISEÑO DE INSTALACIONES DE ALCANTARILLADO UTILIZANDO EL MÉTODO HUNTER | 101 |
| 7.8. BOMBA PARA REGADÍO | 104 |
| 7.8.1. CALCULO DEL TAMAÑO DE LA BOMBA (SECTOR CANCHA DE FUTBOL). | 105 |
| 7.8.2. CALCULO DEL TAMAÑO DE LA BOMBA (SECTOR PATIO DEL BUQUE) | 106 |
| 7.9. CONEXIONES E INSTALACIONES | 108 |
| 8. RESULTADOS | 111 |
| 8.1. ANÁLISIS DE INVERSIÓN DEL EQUIPO Eco STEP 6.0 | 111 |
| 8.1.1. RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN | 114 |
| 9. CONCLUSIONES | 120 |
| 10. BIBLIOGRAFÍAS | 121 |
| 11. ANEXOS | 126 |
| 1. ANEXO: CÁLCULO DE LA RECUPERACIÓN DE AGUAS GRISES. | 126 |
| 2. ANEXO: PRONOSTICO DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE DEL CONSUMO TOTAL PARA EL AÑO 2016 | 131 |
| PRONOSTICO DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE DEL MEDIDOR PRINCIPAL PARA EL AÑO 2016 | 131 |
| PRONOSTICO DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE DEL MEDIDOR RAMAL DE INCENDIOS Y AGUA POTABLE PARA EL AÑO 2016 | 132 |
| 3. ANEXO: PRONOSTICO DE PRECIPITACIONES PARA EL AÑO 2016 | 133 |
| 4. ANEXO: DEFINICIÓN DE PARÁMETROS QUE CARACTERIZAN A LAS AGUAS GRISES | 135 |
| 5. ANEXO: REQUISITOS PARA LA CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO | 137 |
| 6. ANEXO: MÉTODO HUNTER | 140 |
| 7. ANEXO: TABLA CAUDAL DE CIRCULACIÓN Q(M ³ /H) | 141 |
| 8. ANEXO: DATOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA | 142 |

Lista de Abreviaturas

- ENAP:** Escuela Naval "Arturo Prat".
- HH:** Huella Hídrica.
- EH:** Edificio de Habitabilidad.
- CF:** Cancha de Fútbol.
- PB:** Patio del Buque.
- APL:** Acuerdo de Producción Limpia.
- AdC:** Armada de Chile
- CPL:** Consejo de Producción Limpia.
- IES:** Institución de Educación Superior.
- MRIAV:** Medidor Ramal de Incendios y áreas verdes.
- MCD:** Medidor Complejo Deportivo.
- MPEN:** Medidor Principal Escuela Naval.
- SST:** Sólidos Suspendidos Totales.
- SDT:** Sólidos Disueltos Totales.
- DBO5:** Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días.
- DQO:** Demanda Química de Oxígeno.
- AE:** Agua Azul Evaporada.
- AI:** Agua Azul que es incorporada dentro del producto.
- FR:** Flujo de Retorno.
- SISS:** Superintendencia de Servicios Sanitarios.
- DGA:** Dirección General de Aguas
- ACV:** Análisis del Ciclo de Vida

Índice de Tablas

| | |
|---|-----|
| Tabla 1.1: Disponibilidad de agua potable por habitante en Chile..... | 15 |
| Tabla 1.2: Agua potable utilizada en actividades domésticas..... | 16 |
| Tabla 2.1: Pronostico del consumo para el año 2016 del medidor principal..... | 20 |
| Tabla 2.2: Consumos Medidor Principal Escuela Naval..... | 21 |
| Tabla 2.3: Pronostico del consumo para el año 2016 del medidor ramal de incendios y áreas verdes..... | 22 |
| Tabla 2.4: Consumo Medidor Ramal de Incendios y Regadío | 23 |
| Tabla 2.5: Tiempos de uso de las duchas por cada baño..... | 28 |
| Tabla 2.6: Costos del consumo de agua potable según Esva..... | 28 |
| Tabla 4.1: Parámetros que caracterizan las aguas grises de duchas y lavamanos..... | 34 |
| Tabla 4.2: Características de aguas según origen | 36 |
| Tabla 4.3: Ventajas y Desventajas del sistema de tratamiento de aguas grises..... | 41 |
| Tabla 4.4: Características de las distintas aguas y sus parámetros de calidad..... | 44 |
| Tabla 4.5: Normas chilenas aplicables a las aguas grises. | 51 |
| Tabla 5.1: Información y fuentes para cada una de las HH..... | 62 |
| Tabla 6.1: Estimación de las aguas grises..... | 66 |
| Tabla 6.2: Demanda de agua potable | 67 |
| Tabla 6.3: Cantidad de agua utilizada por cadetes en distintos horarios | 68 |
| Tabla 6.4: Cantidad de agua utilizada por personal de la escuela en distintos horarios | 69 |
| Tabla 6.5: Consumo total del edificio de "Habitabilidad" de la Escuela Naval..... | 70 |
| Tabla 6.6: Estimación del consumo de agua potable para cada sector..... | 73 |
| Tabla 6.7: Cantidad de agua recuperada v/s cantidad de agua utilizada para riego | 75 |
| Tabla 6.8: Datos para la Huella Hídrica | 82 |
| Tabla 6.9: Huella Hídrica Azul Duchas - Lavamanos..... | 83 |
| Tabla 6.10: Huella Hídrica Gris para Sólidos Suspendidos Totales | 84 |
| Tabla 6.11: Huella Hídrica Gris para DBO5 | 84 |
| Tabla 6.12: Huella Hídrica Gris para Fosforo | 85 |
| Tabla 6.13: Huella Hídrica Gris para Nitrógeno Total | 85 |
| Tabla 6.14: Huella Hídrica Gris Duchas - Lavamanos | 86 |
| Tabla 6.15: Huella Hídrica Total | 86 |
| Tabla 6.16: Huella Hídrica Verde de las áreas verdes Escuela Naval..... | 88 |
| Tabla 6.17: Reducción producida al incorporar un sistema de reutilización de aguas grises..... | 89 |
| Tabla 7.1: Antecedentes del sistema de reutilización de aguas grises | 90 |
| Tabla 7.2: Estanques receptores y almacenadores..... | 91 |
| Tabla 7.3: Parámetros del agua tratada..... | 92 |
| Tabla 7.4: Mantenimiento y Limpieza del Equipo | 99 |
| Tabla 7.5: Unidades de Equivalencia Hidráulica (UEH) y diámetro de la descarga para cada artefacto según uso..... | 101 |
| Tabla 7.6: Calculo de la capacidad de descarga de las tuberías necesarias para la Escuela Naval, dependiendo de cada baño. | 102 |
| Tabla 7.7: Diámetro de la descarga total los baños | 103 |
| Tabla 7.8: Capacidad Hidráulica y Diámetro Nominal | 103 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 8.1: Inversión Inicial del proyecto de aguas grises..... | 111 |
| Tabla 8.2: Detalle del costo de la inversión inicial | 111 |
| Tabla 8.3: Cantidades en m ³ utilizados para cada día en el año..... | 114 |
| Tabla 8.4: Recuperación de la Inversión | 115 |
| Tabla 8.5: Flujo de caja del Proyecto | 116 |
| Tabla 11.1: Datos de los caudales de lavamanos y duchas | 127 |
| Tabla 11.2: Tiempo de utilización de duchas por cadetes | 129 |
| Tabla 11.3: Pronostico consumo agua potable del consumo total para el año 2016... | 131 |
| Tabla 11.4: Pronostico del consumo de agua potable del MPEN para el año 2016 | 131 |
| Tabla 11.5: Pronostico de consumo de agua potable del medidor ramal de incendios y regadío para el año 2016 | 132 |
| Tabla 11.6: Precipitaciones 2016 | 133 |
| Tabla 11.7: Concentraciones máximas de elementos químicos en agua para riego. ... | 137 |
| Tabla 11.8: Clasificación de aguas para riego según su salinidad | 138 |
| Tabla 11.9: Capacidad de las tuberías de descarga | 140 |
| Tabla 11.10: Longitud máxima en metros de tubería de ventilación en relación con el diámetro de descarga..... | 140 |
| Tabla 11.11: Tabla Caudal de Circulación por tuberías..... | 141 |
| Tabla 11.12: Tarifa Chilquinta | 142 |
| Tabla 11.13: Costos de producción | 142 |
| Tabla 11.14: Costos de Mantenimiento | 142 |

Índice de Ilustraciones

| | |
|---|-----|
| Ilustración 1.1: Ubicación Geográfica de la Escuela Naval “Arturo Prat” | 13 |
| Ilustración 1.2: Distribución edificios Escuela Naval “Arturo Prat” | 14 |
| Ilustración 2.1: Edificio de Habitabilidad Escuela Naval “Arturo Prat” | 24 |
| Ilustración 2.2: Edificio de Habitabilidad parte 1 y 2 | 24 |
| Ilustración 2.3: Edificio de Habitabilidad parte 3 y 4 | 25 |
| Ilustración 2.4: Edificio Habitabilidad Funcionarios planta | 25 |
| Ilustración 2.5: Interior baños Edificio Habitabilidad | 26 |
| Ilustración 2.6: Duchas hilera Edificio Habitabilidad | 27 |
| Ilustración 6.1: Zonas de estudio para el uso de las aguas tratadas de la Escuela Naval | 72 |
| Ilustración 7.1: Sistema de reutilización de aguas grises y su circuito de ingreso/descarga. | 91 |
| Ilustración 7.2: Esquema del Equipo Eco-Step | 94 |
| Ilustración 7.3: Dimensiones del Equipo Eco-Step | 95 |
| Ilustración 7.4: Eco Step 6.0 | 97 |
| Ilustración 7.5: Dimensiones Estanque ROTHAGUA® (RDBA 3000) | 98 |
| Ilustración 7.6: Lugar de instalación de planta de tratamiento de aguas grises..... | 108 |
| Ilustración 7.7: Ubicación de la Planta de tratamiento en la Escuela Naval | 109 |
| Ilustración 7.8: Disposición de los estanques en el terreno designado | 110 |

Índice de Gráficos

| | |
|--|-----|
| Gráfico 2.1: Consumo Total Escuela Naval "Arturo Prat"..... | 17 |
| Gráfico 2.2: Consumo Medidor Principal Escuela Naval "Arturo Prat" | 18 |
| Gráfico 2.3: Consumo Medidor ramal de incendios y regadío Escuela Naval "Arturo Prat"..... | 19 |
| Gráfico 2.4: Consumo Medidor Principal para el año 2016..... | 21 |
| Gráfico 2.5: Consumo Medidor Ramal de Incendios y Regadíos pronósticos año 2016 | 23 |
| Gráfico 4.1: Usos de agua potable en el domicilio | 42 |
| Gráfico 6.1: Agua utilizada por cadetes en diferentes horarios | 68 |
| Gráfico 6.2: Agua utilizada por Personal Escuela Naval en diferentes horarios..... | 69 |
| Gráfico 6.3: Cantidad de agua utilizada en diferentes horarios | 70 |
| Gráfico 6.4: Mayor producción de aguas grises según intervalos de tiempo | 71 |
| Gráfico 6.5: Cantidad de agua utilizada para los sectores de "cancha" de fútbol y "patio del buque" según horarios de uso | 74 |
| Gráfico 8.1: Representación de la recuperación de la inversión y ahorro..... | 115 |
| Gráfico 8.2: Recuperación de la Inversión | 118 |
| Gráfico 8.3: Ahorro de acuerdo a la capacidad de uso del Equipo..... | 119 |
| Gráfico 11.1: Precipitaciones anuales zona de Valparaíso..... | 133 |
| Gráfico 11.2: Pronostico precipitaciones 2016..... | 134 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 3.1: Análisis FODA | 31 |
| Figura 4.1: Descripción del procesos..... | 39 |
| Figura 5.1:Esquema de la metodología de la Huella Hídrica | 55 |
| Figura 5.2: Balance de masa..... | 61 |
| Figura 6.1: Diagrama de la reutilización de aguas grises | 64 |
| Figura 6.2: Esquema simplificado de duchas (Personal armada y Baños "Olimpos").. | 78 |
| Figura 6.3: Esquema simplificado del proceso de duchas de los cadetes..... | 78 |
| Figura 6.4: Esquema simplificado del proceso de lavamanos | 79 |
| Figura 6.5: Diagrama del flujo del agua potable del edificio "Habitabilidad" | 80 |
| Figura 6.6: Diagrama del flujo del agua potable para el regadío de áreas verdes | 81 |

Resumen

La presente tesis entrega una propuesta de diseño para un sistema de tratamiento de aguas grises que permitirá la reutilización de estas aguas de acuerdo a los volúmenes de agua potable demandados por la Escuela Naval "Arturo Prat" (ENAP).

Este trabajo tiene como fin reducir el consumo del agua potable utilizada para el riego a través de la reutilización de las aguas grises; las aguas ya tratadas serán utilizadas para regar las áreas de la ENAP y de esta forma contribuir con el medio ambiente.

Las aguas grises se obtendrán del Edificio de Habitabilidad (EH) de la ENAP, específicamente de las duchas y lavamanos de los baños utilizados por los cadetes y el personal de la ENAP. La cantidad obtenida de aguas tratadas podrá abastecer el sector de la Cancha de Fútbol (CF) y una parte del Patio del buque (PB).

La Huella Hídrica (HH) será nuestra metodología a seguir, se calculó con el fin de analizar el consumo de agua potable utilizado por la Escuela Naval; para determinar la HH se utilizó el manual *The Water Footprint Assessment Manual* del año 2011, entregado por *Water footprint network*. El manual utilizado es el estándar utilizado a nivel mundial para la comprensión, cuantificación y manejo de la utilización del agua a nivel corporativo.

En cuanto al diseño del sistema de reutilización de aguas grises, se estudiaron las aguas grises, tipos, componentes y utilidades; posteriormente se estudiaron otros casos, de que han hecho otros para reutilizar las aguas grises a nivel nacional e internacional. Se entregaran las especificaciones técnicas del proyecto y el tipo de planta a utilizar y para finalizar se presentará la evaluación económica del proyecto.

Se concluye que la propuesta presentada permitirá un ahorro anual cercano a los 9.120 m³ el cual representa un 20% del total del agua utilizada para regar las áreas verdes. Traducido esto en dinero para la ENAP significará un ahorro cercano a los \$6.650.000.- anuales aproximadamente.

Abstract

This thesis gives a design proposal for a treatment system that will allow greywater reuse of these waters according to the volumes of potable water demand by the "Arturo Prat" Naval Academy (NAAP)

This work aims to reduce the consumption of potable water used for irrigation through the reuse of gray water; the already treated water will be used to irrigate the areas of NAAP and thus contribute to the environment.

The Water Footprint (HH) will be our methodology to be followed, was calculated in order to analyze the consumption of drinking water used by the Naval School; to determine the manual The Water Footprint Assessment Manual of 2011, delivered by WFN was used. The manual used is the standard used worldwide for understanding, quantification and management of water use at the corporate level.

As for the system design reuse gray water, gray water, types, components and utilities were studied; subsequently studied other cases, they have made others to reuse graywater at national and international level. The technical specifications of the project and the type of plant to be used is delivered and to end the economic evaluation of the project will be presented.

It is concluded that the proposal will allow annual savings close to 9.120 m³ which represents 20% of the water used to irrigate the green areas. In this cash for NAAP will mean savings of close to approximately \$6.650.000.- year.

1. Introducción

Tradicionalmente y debido a la naturaleza del ciclo hidrológico, el agua ha sido considerada como un recurso natural renovable. Sin embargo, el crecimiento poblacional asociado al incremento insostenible del volumen de explotación de este recurso, ha provocado un desequilibrio entre oferta y demanda a tal grado que el agua debe considerarse hoy en día como un recurso natural no renovable.

Junto con el problema de la sobre-explotación del recurso hídrico y el agotamiento de las fuentes convencionales de suministro, existe también cada vez mayor conciencia social sobre la magnitud del problema. En la medida que esta conciencia sea mayor en los distintos sectores de la sociedad, mayor será el impacto de aquellas contribuciones que buscan incidir en el problema de agotamiento del agua potable.

Es por esta razón que la ENAP que es una institución de educación superior dependiente de la Armada de Chile (AdC), ha centrado sus esfuerzos en realizar el proyecto de reutilización de aguas grises, que permitirá disminuir la demanda y el consumo de agua potable utilizada para regar las áreas verdes del recinto educacional.

Específicamente se quiere disminuir la demanda de agua potable, para lo cual el presente trabajo consiste en presentar un diseño de un sistema de tratamiento de aguas grises, que nos permita reutilizar las aguas grises provenientes del edificio de “Habitabilidad” y de este modo regar las áreas verdes de la Escuela Naval que tienen una extensión de más de 14 hectáreas (en los cuales se encuentran construidos 80 mil metros cuadrados).

La Escuela Naval en el año 2013, se suscribió al Acuerdo de Producción Limpia (APL) “Campus Sustentable” en conjunto con el Consejo Nacional de Producción Limpia (CPL), donde participan Instituciones de Educación Superior (IES). Es por esta razón que la Escuela Naval se ha enfocado en cumplir con las actividades presentes en este acuerdo; entre las actividades mencionadas se hace hincapié a la reutilización o el reciclaje.

Primero daremos a conocer la ENAP una descripción de esta, su estructura, quienes la conforman y las actividades que realizan. Además de describir detalladamente el alcance de nuestro trabajo.

En la siguiente sección se dará a conocer la situación actual de la ENAP, en el cual se describen los consumos y demanda de agua potable, se define la oportunidad o problema del consumo de agua potable y se establece el objetivo del trabajo. Ya en conocimiento del problema y nuestro objetivo se entregarán los estudios bibliográficos que hacen alusión a nuestro trabajo de título y que podrán ayudarnos para cumplir con nuestros objetivos y diseñaremos el marco teórico que mejor se ajusta a nuestra situación.

La metodología de este trabajo estará centrada en la Huella Hídrica para calcular los volúmenes de agua potable para luego pasar a la propuesta del diseño del sistema de reutilización de aguas grises, todo lo relacionado con la instalación y funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas grises, para ello contaremos con la ayuda de una empresa nacional que nos facilitara el equipo para reutilizar las aguas grises.

Finalmente se entregarán los resultados, junto con la evaluación económica y las conclusiones del proyecto.

1.1. Antecedentes de la Escuela Naval “Arturo Prat”.

La ENAP es una IES dependiente de la AdC cuya principal misión es formar Oficiales Navales en lo moral, militar, físico y cultural, basado en los más altos ideales y valores sustentados por la AdC con el propósito de obtener líderes con las competencias y virtudes requeridas para el Servicio Naval, los que en su calidad de Oficiales de Línea, de los Servicios o de la Reserva Naval, sean capaces de conducir mañana los destinos de nuestra moderna Marina que se abre al Siglo XXI .

La ENAP se encuentra ubicada en la ciudad de Valparaíso, precisamente en el sector de Playa Ancha, la cual se indica en la ilustración 1.



Ilustración 1.1: Ubicación Geográfica de la Escuela Naval “Arturo Prat”

Fuente: Google maps

La ENAP es una institución de educación superior con régimen de semi-internado, es decir los cadetes residen en la ENAP de lunes a viernes y reciben permiso para salir durante los fines de semana, el año escolar está contenido en dos semestres al año y tienen vacaciones de verano (enero y febrero) e invierno (Julio); para el año 2016 se contó con una matrícula de 371 cadetes. En cuanto al personal que trabaja en la ENAP son alrededor de 438, entre profesores, oficiales de armada y obreros.

La distribución de este recinto es variada, entre los cuales destacan el EH lugar de donde residen los cadetes y personal de la Armada, salas de clases y edificios administrativos, además de dos casinos y un complejo deportivo.

En la siguiente imagen se presenta la distribución de los edificios de la Escuela "Naval Arturo Prat":



Ilustración 1.2: Distribución edificios Escuela Naval "Arturo Prat"

Fuente: Google Maps

1.2. Planteamiento del Problema

Hoy en día la escasez y el mal uso de agua, plantean una creciente y seria amenaza para el medio ambiente, la salud y supervivencia de las personas.

El agua, como motor de desarrollo y fuente de riqueza, ha constituido uno de los pilares fundamentales para el progreso del hombre. El agua es un recurso natural cada vez más importante y escaso en nuestro entorno.

El 69% de toda el agua dulce que se consume en el planeta se destina a la agricultura, el 23% lo utiliza la industria y el uso doméstico sólo asciende a un 8%. El 18% de la población mundial no tiene acceso al agua potable, se cree que en el promedio de unos 20 años más, el agua disminuirá a un tercio por habitante de la que actualmente es consumida, según la Superintendencia de Servicios Sanitarios del Gobierno de Chile.

Dentro del contexto mundial, Chile podría ser calificado como un país privilegiado en materia de recursos hídricos. Al considerar todo el territorio chileno, el Volumen de agua procedente de las precipitaciones que escurre por los cauces es de 53.000 m³ por persona al año, superando en 8 veces la media mundial de 6.600 m³/habitante/año, y en 25 veces el mínimo de 2000 m³/habitante/año que se requiere para un desarrollo sostenible¹.

Tabla 1.1: Disponibilidad de agua potable por habitante en Chile.

| Región | m ³ /per/año |
|--------------|-------------------------|
| I/XV | 854 |
| II | 52 |
| III | 208 |
| IV | 1.020 |
| V | 801 |
| RM | 525 |
| VI | 6.829 |
| VII | 23.978 |
| VIII | 21.556 |
| IX | 49.273 |
| X/XIV | 136.207 |
| XI | 2.993.585 |
| XII | 1.959.036 |
| Media | 53.953 |

Fuente: Elaboración Propia de datos obtenidos en "Chile Cuida su Agua" Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025, Ministerio del Medio Ambiente

Para el caso del agua potable consumida por persona, la cantidad mínima de agua que requiere una persona en forma diaria para la satisfacción de sus necesidades básicas es de 60 litros.

¹ "Chile Cuida su Agua" Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025, Ministerio del Medio Ambiente.

Según la Superintendencia de Servicios Sanitarios del Gobierno de Chile, la cantidad aproximada de agua potable utilizada por una persona en actividades higiénicas y domésticas son las siguientes:²

Tabla 1.2: Agua potable utilizada en actividades domésticas.

| Actividades | Litros aproximadamente |
|---|-------------------------------|
| Lavarse las manos | 2 – 8 litros |
| Lavarse los dientes | 2 – 12 litros |
| Ducharse | 80 – 120 litros |
| Poner una lavadora | 60 – 90 litros |
| Lavar los platos a mano | 15 – 30 litros |
| Vaciar el estaque del WC | 6 – 10 litros |
| Limpiar la casa | 10 litros/día |
| En la cocina y para beber | 10 litros/día |
| Lavar el auto | 400 litros |
| Regar 100 m² de césped en el jardín | 1000 litros |

Fuente: "Manual para el hogar" Superintendencia de Servicios Sanitarios del Gobierno de Chile. Febrero 2011

Si, bien en Chile no tenemos problemas de escasez de agua potable, pero ya para un futuro no lejano la cantidad de agua disponible disminuirá un tercio de la que actualmente es consumida por habitante. Es por ello que instituciones como la Escuela Naval, han centrado su interés de ser un campus sustentable para contribuir con el medio ambiente, a través de la reutilización de aguas. De esta forma nace la necesidad de implementar un diseño de tratamiento de aguas grises para su reutilización con el fin de disminuir el consumo de agua potable.

²Manual para el hogar" 2014, Superintendencia de Servicios Sanitarios del Gobierno de Chile. Página web: http://www.siss.gob.cl/577/articles-8644_Manual_para_hogar.pdf

2. Situación actual de la Escuela Naval “Arturo Prat”

Para nuestro caso de estudio será necesario analizar el edificio de Habitabilidad (EH), ya que es el edificio del cual se puede aprovechar la mayor cantidad de aguas grises para ser reutilizadas en el regadío de las áreas verdes.

La distribución de la red de agua potable se encuentra dividida en tres medidores:

- Medidor Ramal de Incendios y áreas verdes (MRIAV): Utilizado en caso de incendios y en simulacros realizados por la Escuela naval. Además de ser utilizado para regar las áreas verdes de la Escuela Naval.
- Medidor Complejo Deportivo (MCD): Este medidor es utilizado solo en las dependencias del complejo deportivo.
- Medidor Principal Escuela Naval (MPEN): Este es el medidor más importante porque abastece todos los edificios (excluyendo complejo deportivo) de la ENAP.

Ahora bien, para nuestro estudio nos enfocaremos en dos medidores: MRIAV y en el MPEN; no se considerará el MCD porque su administración es independiente de la Escuela Naval.

A continuación presentaremos los consumo de los dos medidores que utilizaremos para nuestro proyecto de reutilización de aguas grises, para el consumo del año 2016, en el **anexo 2** se encuentra el pronóstico del consumo de agua potable total para el año 2016.

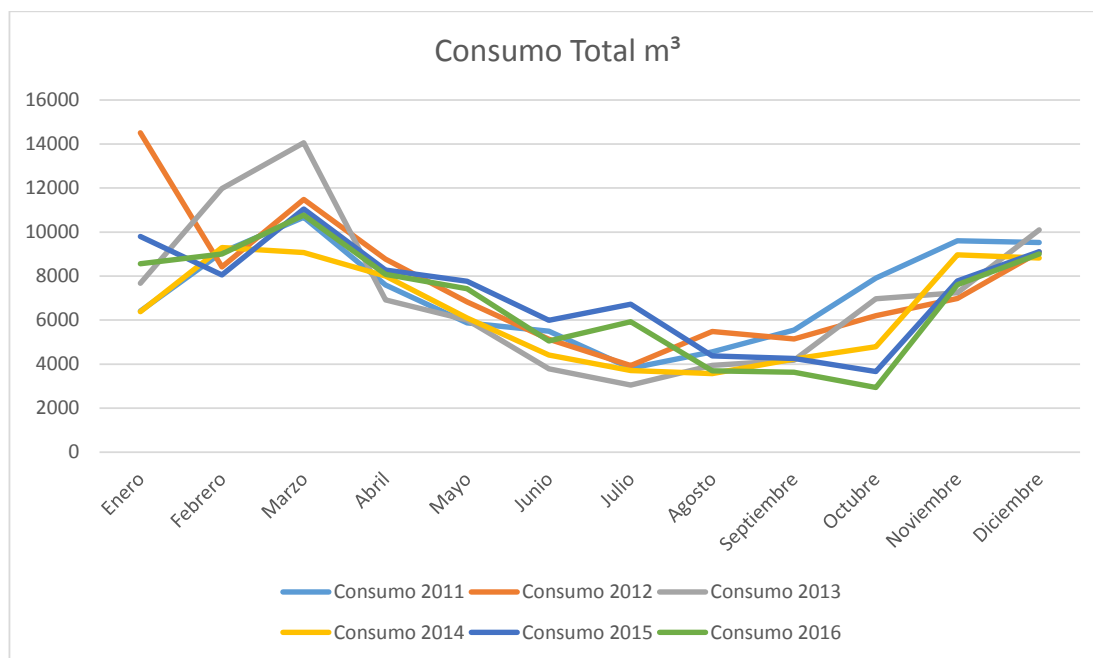


Gráfico 2.1: Consumo Total Escuela Naval "Arturo Prat"

Fuente: Datos proporcionados por la Escuela Naval "Arturo Prat". Elaboración Propia.

De acuerdo al gráfico podemos observar el comportamiento del consumo total de agua por parte de la ENAP, el mayor consumo de agua potable ocurre durante los meses de verano y primavera, esto se debe a la escasez de lluvias, lo que implica un mayor consumo de agua potable utilizada para regar las áreas verdes, y en cuanto a los meses de otoño e invierno existe un menor consumo; esto se debe a que las áreas verdes se riegan con menor frecuencia, ya que en esta parte del año llueve con mayor frecuencia. Además podemos observar que el consumo total a lo largo de los años que existe una tendencia, la curva presentada a través de los años se comporta de manera similar, a modo de conclusión podemos inferir que la cantidad de agua potable utilizada variará si nos encontramos en un año lluvioso o no.

A continuación presentaremos el consumo del medidor principal que abastece los distintos edificios de la ENAP y en el **anexo 2** se encuentra el pronóstico del consumo del medidor principal para el año 2016.

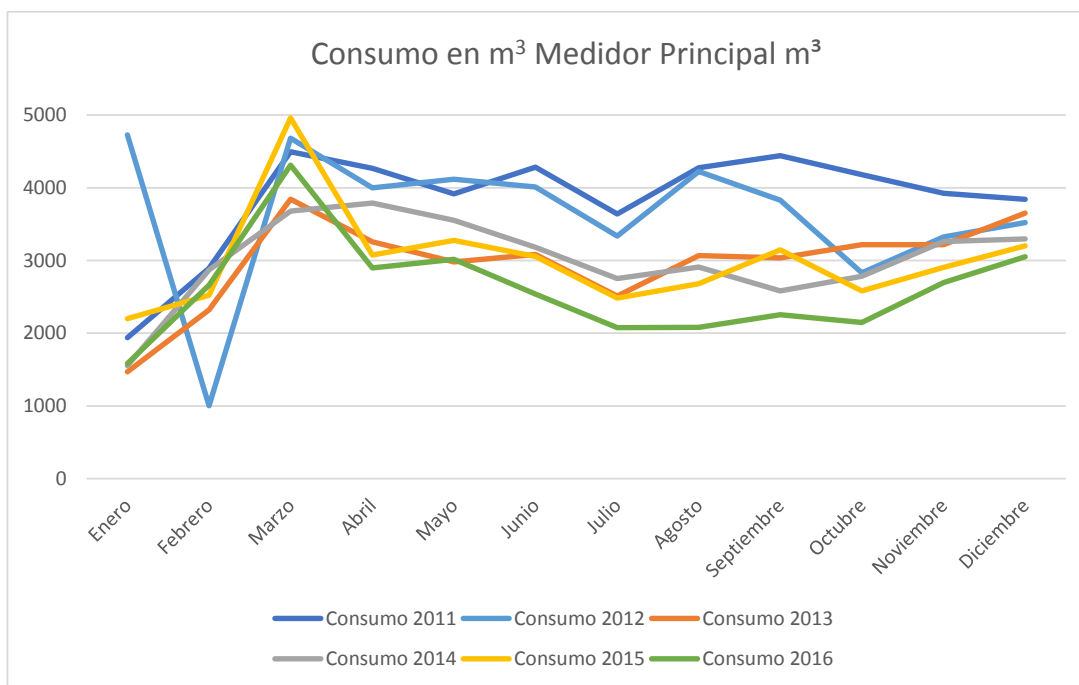


Gráfico 2.2: Consumo Medidor Principal Escuela Naval "Arturo Prat"

Fuente: Datos proporcionados por la Escuela Naval "Arturo Prat". Elaboración Propia.

Se puede observar que durante el año 2012 el consumo de agua potable por parte de la ENAP es mayor comparado con los otros años y no se comporta de forma similar. Si analizamos los otros años descartando el año 2012, estos presentan curvas similares, lo cual indica que para el año 2016 la curva se presentara de manera similar a los años anteriores. Como podemos observar en las curvas el mayor consumo se ocasiona durante el mes de marzo con el ingreso de los cadetes a clases y está relacionado con las distintas actividades del inicio de clases.

A continuación presentaremos el consumo del MRIAV de la ENAP y en el **anexo 2** se encuentra el pronóstico del consumo de agua potable del MRIAV para el año 2016.

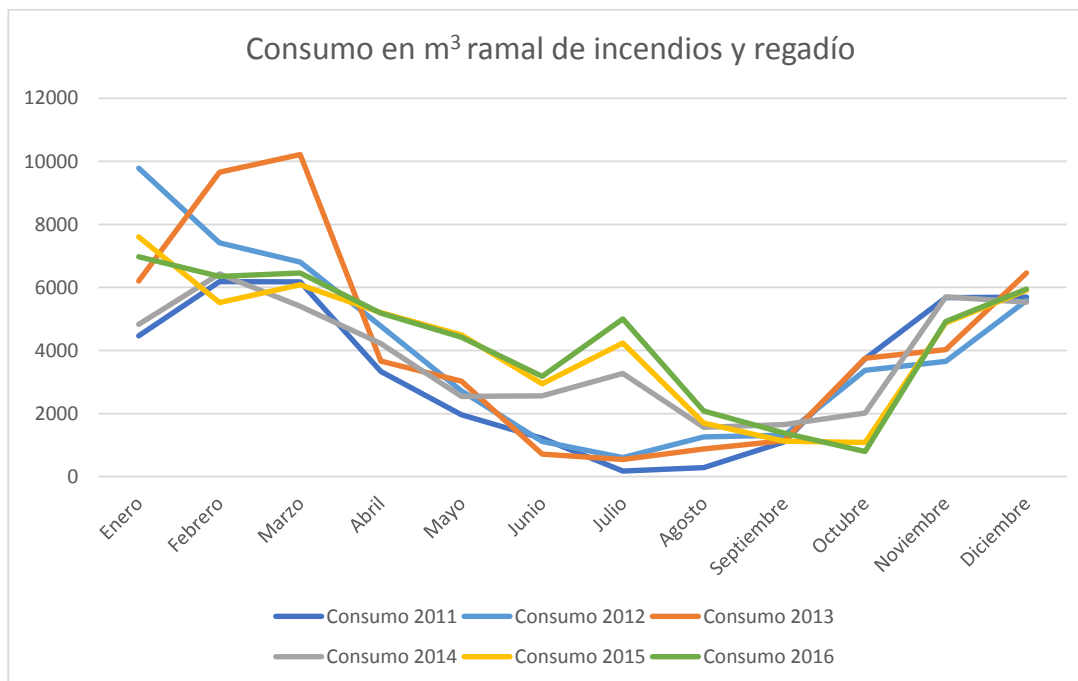


Gráfico 2.3: Consumo Medidor ramal de incendios y regadío Escuela Naval “Arturo Prat”

Fuente: Datos proporcionados por la Escuela Naval “Arturo Prat”. Elaboración Propia.

Se puede observar que el consumo del agua del MRIAV se comporta de manera similar, solo por algunos puntos que se escapan de la tendencia durante los años. Si bien los años 2014, 2015 y 2016 presenta una curva similar. Además podemos inferir que para los meses de verano y primavera el consumo es mucho mayor por la escasez de lluvias, y para los meses de invierno y otoño el consumo es menor. De acuerdo a los datos entregados por el personal de la ENAP, este medidor últimamente no ha sido utilizado en caso de incendios más bien ha sido utilizado rara vez en simulacros realizados por la ENAP, por lo cual no se aporta consumo por este fin.

2.1. Pronostico del consumo de agua para el año 2016

Conocidos los comportamientos de los consumos marcados por los medidores durante los años anteriores, presentaremos el consumo del año 2016 de acuerdo al siguiente pronóstico.

Tabla 2.1: Pronostico del consumo para el año 2016 del medidor principal

| Mes | m ³ |
|------------|----------------|
| Enero | 1582,5 |
| Febrero | 2659,1 |
| Marzo | 4309,5 |
| Abril | 2897,7 |
| Mayo | 3014,4 |
| Junio | 2536,6 |
| Julio | 2075,7 |
| Agosto | 2078,4 |
| Septiembre | 2253,1 |
| Octubre | 2145,3 |
| Noviembre | 2696,3 |
| Diciembre | 3050,9 |

Fuente: Datos proporcionados por la Escuela Naval "Arturo Prat". Elaboración Propia

En el siguiente gráfico se presenta el consumo para el año 2016 del consumo de agua potable para la Escuela Naval "Arturo Prat".

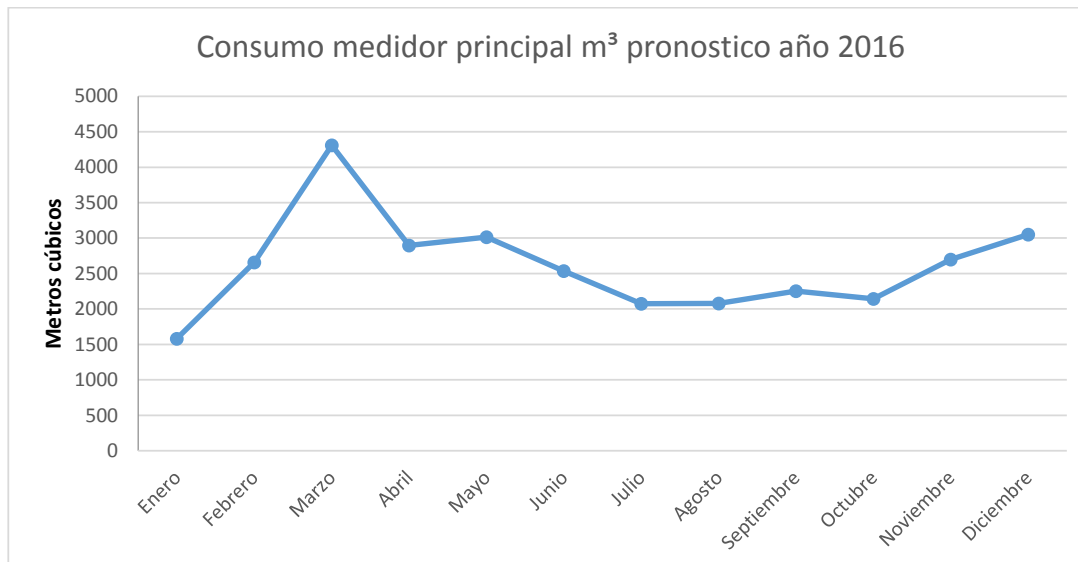


Gráfico 2.4: Consumo Medidor Principal para el año 2016

Fuente: Datos proporcionados por la Escuela Naval "Arturo Prat". Elaboración Propia.

Como se puede observar que durante los meses de Enero y Febrero los consumos de agua potable son menores, y durante los meses de Julio y Septiembre porque los alumnos se encuentran de vacaciones y en el caso de septiembre por las Fiestas Patrias. Además que para los meses de invierno los alumnos toman duchas más cortas ya que la mayoría se ducha con agua fría. Los consumos más altos ocurren en los meses de marzo, abril, mayo y noviembre y diciembre, esto se debe a que existen mayores actividades extra programáticas (actos con las comunidades y familiares).

Tabla 2.2: Consumos Medidor Principal Escuela Naval

| Consumo | m³/mes |
|-----------------------|--------------------------|
| Total | 31299,5 |
| Promedio | 2608,3 |
| Mínimo (Enero) | 1582,5 |
| Máximo (Marzo) | 4309,5 |

Fuente: Datos proporcionados por la Escuela Naval "Arturo Prat" Elaboración Propia.

El consumo mensual promedio es de 2608,3 m³ mensuales, presentando un mínimo de 1582,5 m³ en el mes de enero y un máximo de 4309,5 m³ en el mes de marzo.

En cuanto al consumo pronosticado del año 2016, para el medidor ramal de incendios y áreas verdes se entrega a continuación.

Tabla 2.3: Pronostico del consumo para el año 2016 del medidor ramal de incendios y áreas verdes

| Mes | m³ |
|-------------------|----------------------|
| Enero | 6973,6 |
| Febrero | 6350,5 |
| Marzo | 6461,8 |
| Abril | 5186,4 |
| Mayo | 4418,5 |
| Junio | 3177,5 |
| Julio | 5000,9 |
| Agosto | 2074,1 |
| Septiembre | 1376,9 |
| Octubre | 795 |
| Noviembre | 4918,6 |
| Diciembre | 5951,6 |

Fuente: Datos proporcionados por la Escuela Naval "Arturo Prat" Elaboración Propia.

En el siguiente gráfico se presenta el consumo para el año 2016 del consumo de agua potable para la Escuela Naval “Arturo Prat”.

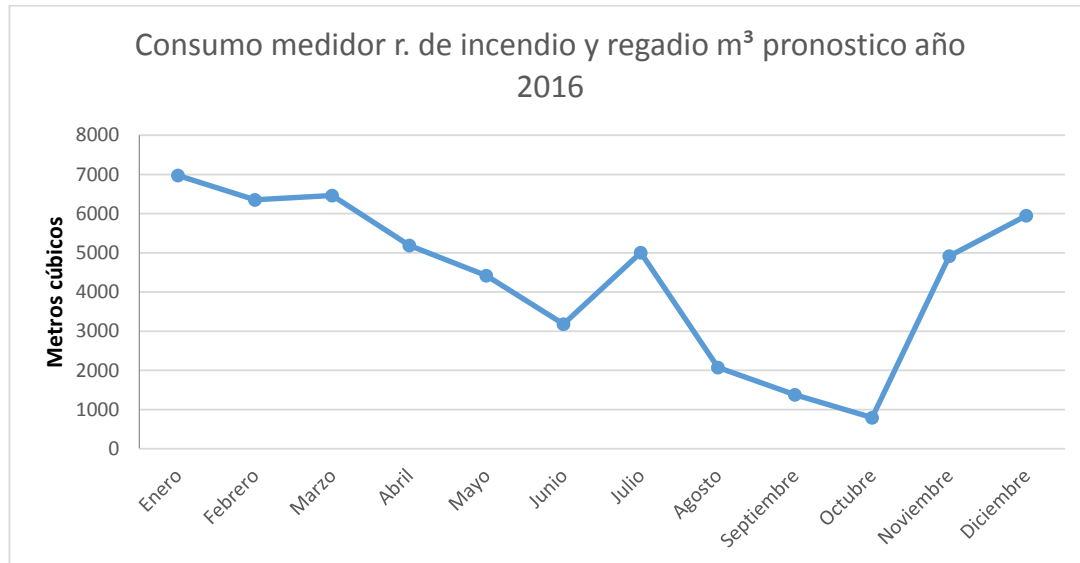


Gráfico 2.5: Consumo Medidor Ramal de Incendios y Regadíos pronósticos año 2016

Fuente: Datos proporcionados por la Escuela Naval “Arturo Prat” Elaboración Propia.

El consumo de agua potable para el regadío de áreas verdes es directamente proporcional a la estación del año en que nos encontramos, si observan el gráfico durante los meses que no existe presencia de lluvias es decir los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo el consumo es notablemente mayor que el resto de los meses del año y durante los meses de los otros meses a excepción de Julio (durante los años el consumo de este mes ha ido en aumento), donde existe mayor presencia de lluvias el consumo de agua potable disminuye considerablemente.

A continuación se presentan los máximos y mínimos del año 2016.

Tabla 2.4: Consumo Medidor Ramal de Incendios y Regadío

| Consumo | m³/mes |
|-------------------------|---------------|
| Total | 52685,4 |
| Promedio | 4390,5 |
| Mínimo (Octubre) | 6973,6 |
| Máximo (Enero) | 795 |

Fuente: Datos proporcionados por la Escuela Naval “Arturo Prat” Elaboración Propia.

El consumo mensual promedio es de 4390,5 m³ mensuales, presentando un mínimo de 795 m³ en el mes de Octubre y un máximo de 6973,6 m³ en el mes de Enero.

2.2. Edificio de Habitabilidad obtención de aguas grises

Luego de conocer los consumos de los medidores que utilizaremos para nuestro caso de estudio, especificaremos de donde obtendremos las aguas grises para nuestro trabajo.

Las aguas grises a reutilizar se obtendrán desde el EH de la ENAP, este edificio es en el cual residen los cadetes y personal de la Armada. En la siguiente imagen se presenta el EH.



Ilustración 2.1: Edificio de Habitabilidad Escuela Naval "Arturo Prat"

El EH se divide en 4 edificios destinado a los cadetes de cada generación y uno para los funcionarios de la Armada, la distribución de los baños se representa con siglas para cada baño, como por ejemplo: H – 12; esto quiere decir que el baño pertenece al EH 1 y se encuentra en el piso 2.

A continuación se presenta la distribución de los baños.



Ilustración 2.2: Edificio de Habitabilidad parte 1 y 2



Ilustración 2.3: Edificio de Habitabilidad parte 3 y 4



Ilustración 2.4: Edificio Habitabilidad Funcionarios planta

Luego de conocer como está constituido el EH, es necesario determinar la cantidad de agua grises producidas por este edificio para ello debemos determinar los caudales de las duchas y lavamanos presentes en los baños ocupados por los cadetes y funcionarios de la ENAP.

El Edificio de Habitabilidad cuenta con ocho baños de los cuales siete están utilizables y dos de ellos pertenecen a las cadetes femeninas. Para el caso de los funcionarios de la armada existen dos baños para hombres y uno para mujeres.

La siguiente imagen muestra el interior de los baños y su distribución.



Ilustración 2.5: Interior baños Edificio Habitabilidad

Los baños cuentan con lavamanos en forma de hilera, cada hilera cuenta con diez lavamanos y son doce hileras; por ende el total es de 120 lavamanos. A excepción de los baños llamado “Olimpo” (que son ocupados por los cadetes de la última generación) y baños de cadetes femeninas, estos solo tienen 100 lavamanos.



Ilustración 2.6: Duchas hilera Edificio Habitabilidad

En esta imagen se presenta la ducha utilizada por los cadetes, esta ducha cuenta con 27 dispensadores.

En caso de cadetes femeninas existen duchas lluvia individual y en cada baño hay 27 de ellas, en cuanto a los baños "olimpico" también cuentan con este tipo de duchas, las cuales son 20. En cuanto a los baños del personal de la Armada estos cuentan con 63 lavamanos y con 41 duchas por baño.

Los cadetes utilizan las duchas en la mañana, en la tarde y en la noche. En cuanto a los funcionarios de planta de la ENAP, utilizan los baños en la mañana y en tarde.

El tiempo utilizado por los cadetes para ducharse varía entre 3 a 5 min, esto depende principalmente del mes en que nos encontremos y de la antigüedad que tengan los cadetes. Pero como se observó en el comportamiento del medidor principal el uso de agua potable no tiene grandes variaciones durante el año, es por esta razón que solo los tiempos varían dependiendo de la antigüedad, esta información fue proporcionada por los funcionarios de la ENAP.

Para la utilización de las duchas los tiempos varían ya que existen distintos tipos de baños:

Tabla 2.5: Tiempos de uso de las duchas por cada baño

| <i>Baño</i> | <i>Tiempos Min</i> | <i>Descripción</i> |
|---------------------------|--------------------|--------------------|
| <i>H – 12</i> | 3 | Cadetes |
| <i>H – 13</i> | 3 | Cadetes |
| <i>H – 23</i> | - | Sin Uso |
| <i>H – 24</i> | 3 - 5 | Olimpo M |
| <i>H – 33</i> | 3 | Cadetes |
| <i>H – 34</i> | 3 - 5 | Olimpo F |
| <i>H – 42</i> | 3 - 5 | Cadetes Femenino |
| <i>H – 43</i> | 3 | Cadetes |
| <i>Personal de Planta</i> | 5 | Personal armada |

Fuente: Datos proporcionados por la Escuela Naval “Arturo Prat” Elaboración Propia.

Existen excepciones, ya que durante los fines de semana los cadetes disponen de días libres (sábado y domingo) para ir a sus domicilios particulares, pero hay algunos pocos que se quedan a realizar guardia que son alrededor de 8 cadetes y hay otros que se encuentran sin el beneficio de salida.

La temperatura del agua utilizada en los baños es de 15°C, esta agua es la que proviene directamente de la red de agua abastecida por la compañía de agua y solamente se ocupa agua caliente para los baños de los estudiantes que se encuentran en el último año, es decir los baños H – 24 y H – 23, la temperatura del agua alcanza los 44 ° C.

Como antecedente entregaremos los datos de los costos de agua potable extraídos de la página web de la compañía Esva, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2.6: Costos del consumo de agua potable según Esva

| <i>Detalle de cargos</i> | <i>Valores \$ por m³</i> |
|--|-------------------------------------|
| <i>Cargo Fijo Cliente</i> | 1114,00 |
| <i>Cargo Variable Consumo Agua Potable</i> | 730,97 |
| <i>Cargo Variable Recolección</i> | 283,11 |
| <i>Cargo Variable Tratamiento</i> | 264,79 |
| <i>Total Cargos Variables</i> | 1278,87 |

Fuente: Esva, tarifas de agua potable y alcantarillado para la comuna de Valparaíso. Marzo 2017.

3. Objetivos

3.1. *Objetivo General*

Proponer el diseño de un sistema de tratamiento de aguas grises para ser reutilizadas, con el fin de reducir la demanda de agua potable considerando la Huella Hídrica en la Escuela Naval "Arturo Prat".

3.2. *Objetivo Específico*

- Cuantificar el volumen y caudal de las aguas grises producidas por el Edificio de Habitabilidad y el agua utilizada para regar las áreas verdes de la institución.
- Calcular y analizar la Huella Hídrica del edificio de Habitabilidad y de las áreas verdes de la Escuela Naval.
- Diseñar el sistema de tratamiento de aguas grises.
- Realizar Evaluación Económica del Proyecto.

3.3. Alcance

Obtener el máximo aprovechamiento de aguas recuperadas por medio de un sistema de tratamiento de aguas grises, que pueda reciclar la mayor cantidad de aguas grises (duchas y lavamanos) al día, provenientes del EH de la ENAP.

Se pretende modificar parte de la red de alcantarillado, precisamente para separar las aguas de duchas y lavamanos de las negras, he instalar un sistema de tratamiento de aguas grises, al cual llegaran las aguas provenientes de las duchas y lavamanos, para ser filtrada y purificada de los componentes que puedan dañar el medio ambiente y la salud del personal de la ENAP, para poder utilizarla en el regadío de las áreas verdes.

Disminuir la demanda de agua potable y de esta forma provocar un ahorro en la ENAP y a su vez contribuir con el medio ambiente ya que el agua es un recurso que es necesario cuidar.

Se pretende reducir la demanda del agua potable considerando la HH del EH y de las áreas verdes de la ENAP y a la vez dar cumplimiento al punto referido a la reutilización en el APL "Campus Sustentable".

3.4. Análisis del FODA

A continuación se presentará un análisis FODA del proyecto de reutilización de aguas grises.

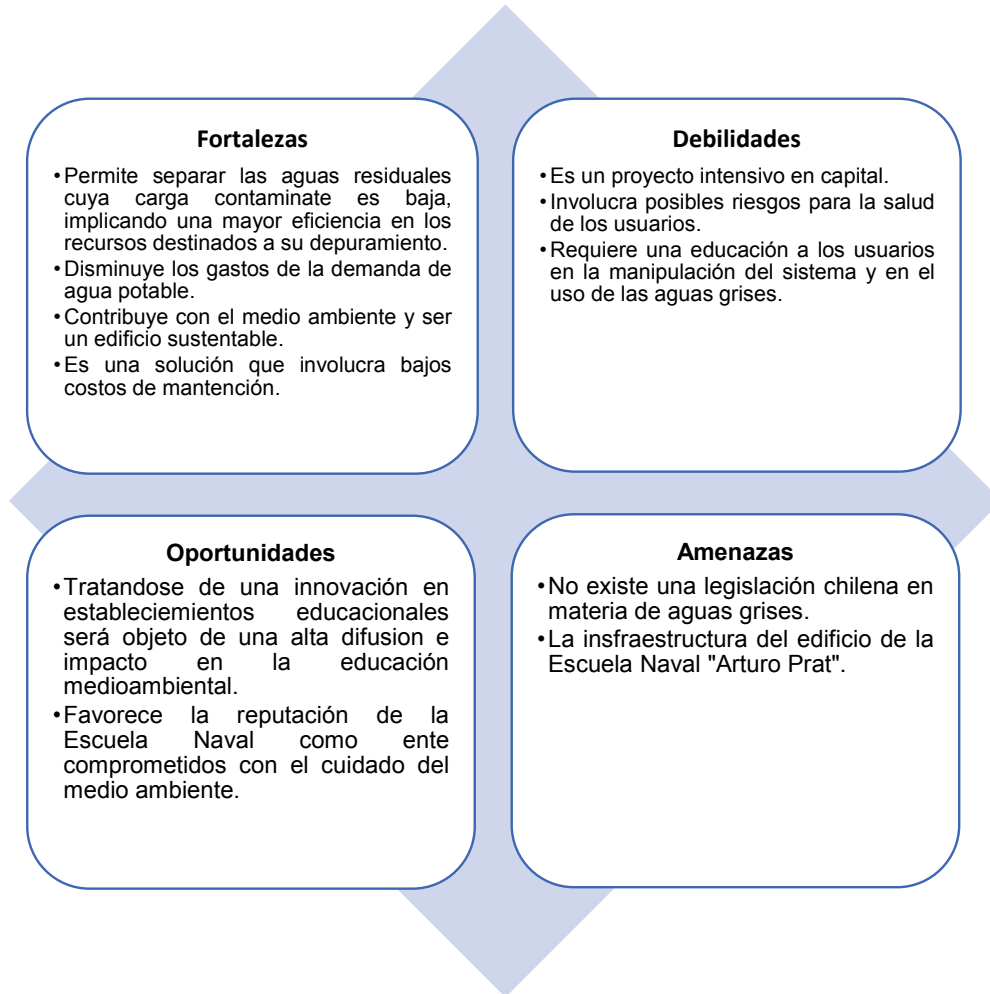


Figura 3.1: Análisis FODA

La estrategia que abordaremos de acuerdo al análisis FODA para nuestro proyecto será enfocada a la FO, la cual estará marcada por el fuerte ahorro de agua potable, a través de la recuperación de las aguas grises, y ser un recinto educacional a la vanguardia en el impacto medioambiental.

4. Marco Teórico

4.1. Aguas Grises

La definición más general permite expresar a las Aguas Grises como “la parte de las aguas servidas domesticas libre de materias fecales y desagües de la cocina.”

Existen diferentes definiciones dadas al término aguas grises, acá citaremos algunas definiciones de distintos autores:

La definición más general permite expresar a las Aguas Grises como “la parte de las aguas servidas domesticas libre de materias fecales y desagües de la cocina”, constituyendo una parte importante de las aguas servidas corresponden a las aguas generadas por los aportes de baños, cocina y lavadero.

Las aguas grises corresponden específicamente a aguas de lavados: baños, cocina y lavaderos, excluyendo residuos de los WC y libres de residuos y basuras y si están tratadas y manejadas adecuadamente pueden constituir un recurso que puede beneficiar la horticultura, agricultores, jardinería y otros. Cuando el agua gris es usada como fuente para riego, tiene aportes de Fósforo, Potasio y Nitrógeno³.

La norma técnica NCh 1105 del Instituto Nacional de Normalización (INN) que es de ingeniería sanitaria. Esta norma, surgida recién en 1999 y actualizada en 2008, señala que “aguas negras son las que provienen del baño y que traen excrementos; y aguas grises son las que provienen de lavaplatos, duchas, lavamanos, lavadoras.⁴

Las aguas grises son aquellas que se vierten por los desagües de bañeras, duchas, lavaplatos, lavavajillas o lavadoras. Estas aguas no son tan nocivas para la salud o el medio ambiente como las aguas negras (aguas residuales que contienen excretas), pero sí contienen cantidades significativas de nutrientes, materia orgánica y bacterias⁵.

4.1.1. Diferencias entre aguas negras y aguas grises

Las aguas grises contiene menos nitrógeno que aguas negras: El 90% del nitrógeno contenido en las aguas residuales combinadas deriva de los residuos sanitarios (por ejemplo, a partir de las aguas negras). El nitrógeno es uno de los contaminantes más graves y difíciles de eliminar y que afectan nuestro potencial suministro de agua.

Las aguas grises contienen muchos menos patógenos que aguas negras: Médicos profesionales y de salud pública consideran las heces como la fuente más importante de patógenos humanos. Mantener los desechos sanitarios fuera de la corriente de aguas residuales reduce drásticamente el peligro de propagación de esos organismos a través del agua.

³Actualización para reutilización de aguas grises del “reglamento general de alcantarillados particulares, fosas sépticas, cámaras filtrantes, cámaras de contacto, cámaras absorbentes y letrinas domiciliarias”

⁴Contexto Legal: Reutilización de Aguas Grises, INN Norma NCh 1105.

⁵Guía para la Reutilización de Aguas Grises en el Sector Gastronómico y de Alojamiento Turístico” Consejo Nacional de Producción Limpia, Ministerio de Relaciones Exteriores, Santiago de Chile, 2012.

Las aguas grises se descomponen mucho más rápido que las aguas negras: Los contaminantes de las aguas grises se descomponen más rápido provocando una más rápida descontaminación y por lo tanto una mayor prevención en la contaminación del agua.

4.2. Composición de las Aguas Grises

Estudios realizados en diferentes países han permitido conocer la composición aproximada de las aguas grises. Las diferencias en calidad de agua potable, así como las diferentes costumbres entre países, ciudades, pueblos y familias, hacen que no se pueda estandarizar la calidad de las aguas grises, no obstante los análisis realizados en diferentes partes del mundo pueden ayudar a tener una idea de las características generales de estas aguas.

Las aguas grises poseen nutrientes en cantidades mucho menores que las negras, presentando aproximadamente solo el 10% del nitrógeno y el 21% del potasio, del total en aguas servidas domesticas [Franco07].

De acuerdo a diversas fuentes bibliográficas, las características de las aguas grises dependen de la calidad del abastecimiento de agua, del tipo de red de distribución para el agua potable y de las actividades desarrolladas en el hogar. Asimismo y debido a las variaciones en el consumo de agua en relación con las cantidades descargadas de contaminantes, la composición y concentración de los principales parámetros de interés, variarán considerablemente tanto en términos de lugar como de tiempo.

A continuación se presenta una tabla con los parámetros que caracterizan las aguas grises, provenientes de duchas y lavamanos. De acuerdo a estos parámetros, podremos tomar decisiones acerca del tipo de filtros que utilizaremos, para eliminar o disminuir ciertos componentes que puedan afectar el medio ambiente o la salud de las personas. Cada uno de estos parámetros se encuentra definido en el **Anexo 4**.

Tabla 4.1: Parámetros que caracterizan las aguas grises de duchas y lavamanos

| Parámetros | Unidades | Promedio | Mínimo | Máximo |
|--|-----------|----------|--------|---------------------|
| Físicos | | | | |
| Conductividad | µS/m | 1000 | 2000 | - |
| Sólidos Suspendidos Totales (SST) | mg/l | 213,8 | 48,0 | 470,0 |
| Sólidos disueltos Totales (SDT) | mg/l | 270,0 | 70,0 | 530,0 |
| Turbiedad (UNT) | UNT | 374,7 | 20,0 | 539,0 |
| Temperatura | °C | 29,5 | 15 | 44 |
| Químicos | | | | |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5) | mg/l | 203,5 | 60,0 | 424,0 |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) | mg/l | 382,0 | 72,0 | 695,0 |
| Fosforo (P) | mg/l | - | 0,1 | 2,2 |
| Potasio (K) | mg/l | 6,65 | 5,9 | 7,4 |
| Nitrógeno Total | mg/l | - | 0,6 | 7,3 |
| pH | | 7,3 | 5,0 | 8,1 |
| Surfactantes | mg/l | 10,1 | <0,5 | 17,6 |
| Microbiológicos | | | | |
| Coliformes Fecales | ufc/100ml | - | 9,0 | 4*10 ⁶ |
| Coliformes Totales | ufc/100ml | - | 70,0 | 2,8*10 ⁷ |

Fuente: Datos obtenidos de "Actualización para reutilización de aguas grises del "reglamento general de alcantarillados particulares, fosas sépticas, cámaras filtrantes, cámaras de contacto, cámaras absorbentes y letrinas domiciliarias". Jacobo Homsí. Diciembre 2010. Elaboración Propia.

4.2.1. Antecedentes Aguas Grises

Las aguas grises permiten un uso eficiente y consiste en usarla para regar las plantas y parques. Las plantas utilizan los contaminantes de las aguas grises, tales como partículas de comida o el fosfato de los detergentes, como nutrientes en su crecimiento. Sin embargo, los residuos de sal y jabón pueden ser tóxicos para la vida microbiana y planta por igual.

El grado de contaminación de las Aguas Grises es relativamente bajo y no exige un tratamiento intensivo para purificarlas a determinados grados exigidos por los usos a que se destinen (cisternas de los baños, regadío, etc.), permitiendo cubrir los siguientes alcances:

- Disminución del consumo de fuente de agua como recurso natural para determinados usos.
- Reducción de costos de tratamiento de aguas residuales para determinados usos.
- Utilización de agua reutilizada para el riego de áreas verdes.

4.2.2. Precauciones y Consideraciones para la salud

Contacto: Cuando se trabaja con aguas grises es importante usar guantes.

Microorganismos en el aire: Las aguas grises nunca se deben de aplicar con sistemas de aspersión, pues algunos microorganismos pueden quedar suspendidos en el aire y ser aspirados por humanos.

Microorganismos dañinos en las plantas: La aplicación directa de aguas grises sin tratamiento sobre las hojas pueden dejar microorganismos dañinos en las plantas. Por esta razón es preferible evitar regar con aguas grises.

Contaminación de las aguas superficiales: Si las aguas grises no se filtran a través de la tierra, pueden contaminar cuerpos de agua fresca cercanos. Por esto se debe evitar el escurrimiento directo de estas aguas a los ríos y lagos.

Contaminación química de las aguas grises: La purificación biológica no remueve toxinas industriales (p.ej. provenientes de productos de limpieza). Éstas son absorbidas por las plantas y la tierra, y penetran hacia los acuíferos, contaminándolos. Muchos productos de limpieza caseros no son adecuados para ser introducidos a la naturaleza y es mejor dejarlos ir con las aguas negras.

Consumo: Las aguas grises nunca se deben de beber. Se deben mantener en un lugar alejado de los niños y las mascotas, para evitar su contacto.

Almacenamiento: Nunca se debe de almacenar aguas grises por más de 24 horas, pues las bacterias se reproducen rápidamente y pueden llegar a ser un riesgo para la salud.

4.3. Características de Aguas Grises según Origen

Las aguas grises presentan diferentes características, según el empleo que se le da al agua potable, a continuación se presenta una lista de características según uso.

Tabla 4.2: Características de aguas según origen

| <i>Origen</i> | <i>Características</i> |
|--------------------------------|--|
| <i>Lava Vajillas</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Altamente contaminada con partículas de comida, aceites y grasas. • Cantidades variables de coliformes. • Generalmente presenta mayor cantidad de Sólidos Suspendidos Totales (SST) que las aguas servidas. • Crecimiento de microorganismos. Descomposición rápida. Mal olor. • Contiene detergentes, blanqueadores, espumas. • Alta demanda de oxígeno. • Usualmente se considera como agua negra. |
| <i>Ducha, tina y lavamanos</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Generalmente corresponde al agua menos contaminada (aguas grises claras). • Puede contener orina, que es estéril en personas sanas, no obstante algunas infecciones en la vejiga pueden hacer que exista presencia de microorganismos, el potencial de estos para sobrevivir y causar infecciones es considerado remoto. • Contiene pelos y productos de limpieza como jabón, champú y pasta de dientes. • Baja demanda de oxígeno. |
| <i>Lavadora</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Contiene coliformes. • Contiene detergentes (sodio, fósforo, boro, amonio, nitrógeno). Espumas. • Alto pH, Alta salinidad. • Alta cantidad de sólidos suspendidos (pelusas), alta turbiedad. |
| <i>Piscinas</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Altas concentraciones de microorganismos. • Gran presencia de químicos (residuos químicos de productos para mantenimiento, aceites para el cuerpo, cosméticos, etc.) • Generalmente no se considera esta agua en recuperación de aguas grises, debido al gran volumen evacuado en poco tiempo. |

Fuente: "Tratamiento y reutilización de aguas grises con aplicación a caso en Chile", Santiago. Junio 2007

4.4. Sistema de tratamiento de Aguas Grises

La infraestructura de un sistema de Aguas Grises está conformado en general por los siguientes componentes:

- **Sistema separado de Conducción de Aguas Grises y Aguas Negras.**

El sistema debe presentar un sistema de separación de aguas, el cual debe garantizar que estas aguas no se mezclen y lleguen a sus destinos de forma separada. En el caso de las aguas grises del EH serán separadas al ingresar al shaft de descarga, las aguas negras bajarán por la descarga que las dirige al alcantarillado y las aguas grises bajarán por la descarga que dirigirá las aguas a los estanques de acumulación ubicados en el terreno dispuesto por la ENAP.

- **Estanque de Acumulación de Aguas Grises.**

El estanque de acumulación, acumulará las aguas grises que provienen de las duchas y lavamanos del EH. El volumen del estanque que utilizaremos es de 3000 litros. Debemos analizar la producción de aguas grises, para determinar la cantidad de estanques que debemos utilizar para acumular las aguas grises.

- **Tratamiento de Aguas Grises.**

El tratamiento de aguas grises se utiliza para purificar las aguas grises, eliminar todos los patógenos y componentes que perjudican el medio ambiente y la salud de las personas. El tratamiento de aguas grises que utilizaremos será un filtro de arena y un filtro UV, las especificaciones de cada tratamiento serán presentaremos más adelante.

- **Estaque de recolección las Aguas Grises tratadas.**

El estanque de recolección de aguas tratadas, acumulará las aguas grises tratadas por los filtros mencionados en el punto anterior. Estas aguas se acumularán en estanque que tienen un volumen de 3000 lts. Las aguas tratadas no permanecerán almacenadas más de 24 horas para su uso. La cantidad de estanques que utilizaremos será determinada más adelante en el proyecto.

- **Sistema de distribución según el uso**

El sistema de distribución será utilizado para regar las áreas verdes de la ENAP, principalmente el sector de la "cancha de fútbol", el sistema de distribución presentará un sistema de bombeo y las respectivas redes de distribución para llevar el agua tratada al sector designado para el riego.

- **Sistema de Control.**

El sistema de control regulará todos los tiempos, del sistema de tratamientos de aguas grises, es decir, el tiempo en que se debe regar y por cuánto tiempo, la cantidad de agua que debe tener como mínimo el tratamiento para parar el sistema.

4.4.1. Cómo funcionan los sistemas de tratamiento de aguas grises para el riego de jardines y áreas verdes

Descripción del proceso

Los sistemas de reutilización de aguas grises consisten en la recolección de aguas procedentes principalmente de duchas, lavadoras, lavamanos y tinas para su posterior utilización como fuente de alimentación de las cisternas de los inodoros o limpieza de exteriores.

Para el caso de la reutilización de aguas grises para el riego de jardines, zonas verdes, las aguas grises son beneficiosas, ya que estas aguas presentan un alto contenido en fósforo, potasio y nitrógeno los cuales son excelentes nutrientes para las plantas.

El sistema de tratamiento de reutilización de aguas grises para regar áreas verdes, requiere la conexión de los desagües de lavamanos, tinas, duchas y lavadoras, donde se realiza un tratamiento de depuración: El cual consiste en un tratamiento físico, mediante unos filtros que impiden el paso de partículas sólidas, los cuales tienen que ser de tamaño adecuado para retener aquellas partículas que suelen verterse en los desagües.

- Prefiltrado y Almacenaje:
 - Se realiza una etapa de prefiltrado de rejilla, en la que se separan las partículas de mayor tamaño de las de menor tamaño.
 - El agua gris prefiltrada llega a los estanques receptores, para su posterior tratamiento.
- Tratamiento de aguas grises:
 - En esta etapa el agua de los estanques de recepción es tratada mediante un filtro de arenas de varias granulometrías (15-25 μm), de forma que quedan retenidos los cuerpos sólidos suspendidos en el agua gris.
- Desinfección y Almacenaje:
 - Se esteriliza el agua mediante un filtro de rayos UV que elimina bacterias, virus y protozoos (Rendimiento del 99,9%, según [CPL14]). La luz UV incide sobre los microorganismos patógenos oxidándolos y destruyéndolos.
 - El agua ya desinfectada se almacena en estanques. Esta etapa incluye también la entrada de agua potable, para mantener el nivel de agua en los estanques en caso de falta de entrada de agua.

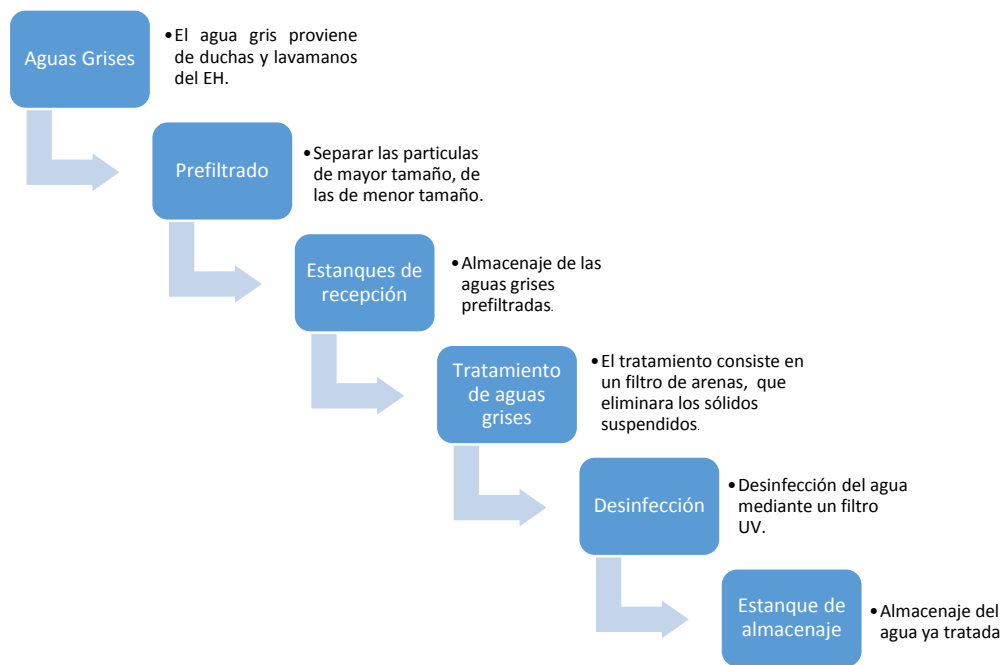


Figura 4.1: Descripción del procesos

Fuente: Elaboración Propia.

Características del sistema

Para dimensionar el sistema, y así estimar la inversión a realizar, es fundamental el depósito de almacenamiento.

En función del número de usuarios de las instalaciones, se calcula su tamaño, para llegar a un equilibrio entre el espacio utilizado y la capacidad del mismo. Estos depósitos son generalmente de fibra de vidrio y se presentan en formato horizontal o modular.

Los depósitos cuentan con un mecanismo de boyas y válvulas que suple de carencia tomando agua de la red de abastecimiento general. Si, por el contrario, la producción de aguas grises es muy alta y se produce sobrellenado del depósito, este dispone de un rebosadero que recoge y lleva el sobrante hasta la red general de desagües.

Requisitos para la correcta instalación del sistema

Requiere un sistema separado de tuberías y/o ductos para la recolección del agua de ducha y bañera. Es necesario separar los ductos de aguas residuales y una única tubería para la recolección del agua procedentes de las duchas y de las bañeras. La tubería de aguas grises conducirá las aguas hasta el sistema de tratamiento.

Requiere que todas las tuberías del sistema de aguas grises sean específicas para agua no potable y estén debidamente señalizadas, para diferenciarlas fácilmente del resto. Debe disponer de un desagüe conectado a la red de alcantarillado.

Es necesario prever que la entrada de agua de la red garantice el mínimo caudal para el correcto funcionamiento de todo el sistema, para asegurar en todo momento el suministro de agua. Debe disponer de una derivación o conexión de agua potable de la red directa a los depósitos acumuladores.

Condiciones de uso

Para poder tratar las aguas grises es necesario que el edificio disponga de dos sistemas de recogida de aguas independientes: por un lado el de las aguas grises, es decir, el de las aguas proceden de los lavamanos, duchas y baños, y por otro lado el resto de los desagües del edificio.

Para evitar la generación de olores es fundamental el inmediato proceso y reutilización, antes de haber alcanzado el estado anaeróbico, y la ubicación del depósito en zonas oscuras y frías.

Para calcular el diseño de estos sistemas es necesario considerar la capacidad EH (número de personas), el consumo de agua o caudal y su calidad. Debemos considerar el exceso de agua, la cantidad o caudal de aguas pluviales que ingresan al sistema.

Con anterioridad a la instalación, es muy importante definir la ubicación del sistema en relación a la tubería de salida de las aguas grises de forma que se garantice que haya suficiente desnivel para que el agua fluya por gravedad. En caso contrario se deberá disponer de un sistema de bombeo.

A continuación se presentan las ventajas y desventajas del tratamiento de aguas grises.

Tabla 4.3: Ventajas y Desventajas del sistema de tratamiento de aguas grises

| VENTAJAS DE SU APLICACIÓN | DESVENTAJAS DE SU APLICACIÓN |
|--|--|
| Posibilita la reutilización de hasta un 70%, en el caso de ser utilizadas para regar áreas verdes. (según guía de mejores técnicas disponibles para la reutilización de aguas grises en el sector gastronómico y de alojamiento turístico del CPL) | Requiere la instalación de una red de recolección separada de las aguas grises. |
| Permite el mantenimiento de mayores áreas verdes, tanto en verano como en invierno, ahorrando gran parte del agua utilizada para su conservación. | La inversión inicial en instalaciones y en el sistema de tratamiento es importante. |
| No requiere de elementos complejos de diseño ni componentes especiales para su construcción. | Requiere de un espacio suficiente que permita desarrollar el proceso de tratamiento del agua y que reúna las condiciones climáticas adecuadas. |
| No requiere de productos químicos especiales o cualquier otro cuidado más allá que el que se da en un jardín común. | |
| Minimiza la utilización de energía. | |
| No necesita de un mantenimiento permanente consistente. | |

Fuente: Guía de Mejores Técnicas Disponibles para la Reutilización de Aguas Grises en el Sector Gastronómico y de Alojamiento Turístico, CPL 2014.

4.5. Modelo de reúso de Aguas

La idea de la reutilización convierte el gasto en tratamientos en una inversión productiva, pues en lugar de desechar el agua residual, es posible retornar al proceso productivo una fracción del agua residual tratada para que sea acondicionada apropiadamente para su reutilización. Este hecho tiene un efecto beneficio desde el punto de vista del consumo de agua potable. Al reusar agua residual tratada, las necesidades de entrada al proceso disminuyen y, por lo tanto, también la cantidad descargada. Esto trae consigo una cadena de ahorros derivados de varios hechos: primero, por estar consumiendo menos agua del servicio municipal; segundo, por disminuir el gasto de tratamiento (generalmente proporcional al volumen de agua); tercero, por la disminución en el tamaño del tratamiento final para descarga y, por último, por la posibilidad de utilizar el agua para otros usos o usuarios. [Rodríguez08].

Aunque es necesario encontrar la tecnología apropiada que alcance el nivel de eficiencia requerido, es posible, en la mayoría de los casos, encontrar esquemas tratamiento orientados al reúso que sean rentables, en los cuales se logren ahorros considerables por un menor consumo de agua fresca. En la medida que la tecnología avance y los precios reales del agua se incrementen con el tiempo, el esquema de reutilización se volverá cada vez más atractivo [Rodríguez08].

A continuación se presenta un gráfico con los usos del agua potable, en un hogar.

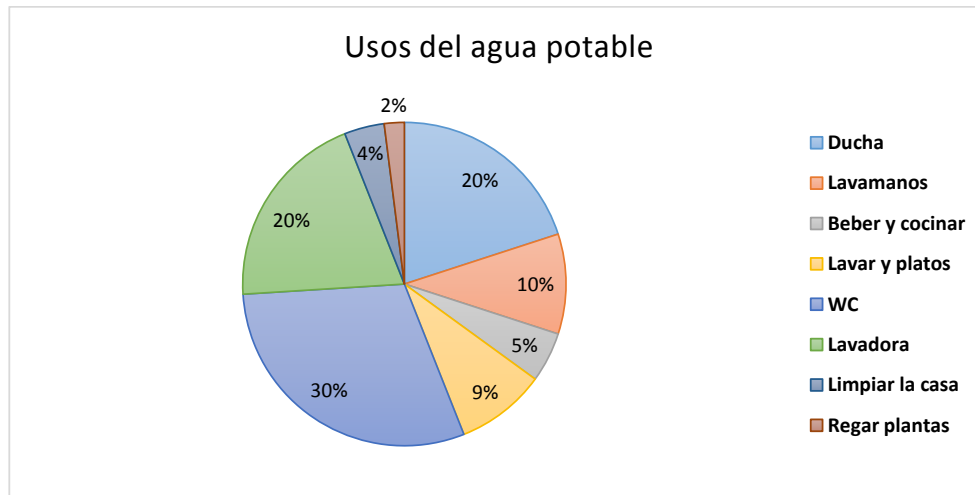


Gráfico 4.1: Usos de agua potable en el domicilio

Fuente: "Reutilización de Aguas Grises", Seminario del Agua, Universidad Tecnológica Nacional, Dr. Roberto Rodríguez, Argentina Septiembre 2008.

De acuerdo al gráfico las actividades del hogar que no requieren agua potable representan el 56% y el 44% de las actividades del hogar requieren agua potable.

Tipos de reúso de Aguas Grises

Entre los usos dados a las aguas grises tratadas se encuentran los de tipo: urbano, agrícola, industrial y minero, ambiental, recreacional y recarga de acuíferos.

Usos Urbanos

Los usos urbanos dados a las aguas grises tratadas son de tipo no potable, entre estos están:

- Riego: Áreas verdes como: parques, canchas deportivas, campos de golf, césped residencial, cementerios, etc. Riego de caminos de tierra.
- Limpieza: de calles, vehículos, ventanas, lavado de ropa en lavadoras, entre otros.
- Estanques de inodoros y urinarios.
- Paisajismos, por ejemplo uso de fuentes y caídas de agua.
- Control de incendios.
- Derretimiento de nieve, a fin de evitar su acumulación en calles.

Los principales usos urbanos dados al agua tratada son en riego y en estanques de inodoros. El uso en estanques de inodoros permite un ahorro de un 30% a un 40% del agua usada al interior de la casa. En el caso de uso en riego residencial, es posible reusar el 60% a 70% del agua residual generada, correspondiente a aguas grises, permitiendo un considerable ahorro de este recurso y/o un aumento de áreas verdes residenciales. El nivel de calidad exigida a las aguas de riego depende del tipo de riego usado y del acceso existente a estas áreas. [Franco07]

Usos Agrícolas

En agricultura las aguas grises recuperadas son ocupadas principalmente en riego, dirigido a cultivos, huertos, viñas, árboles frutales y prados. También son usadas para dilución de fertilizantes y pesticidas. Se debe tener cuidado que no se consuma esta agua por parte de los trabajadores.

Según el tipo de uso agrícola, la forma de consumo de los alimentos producidos y la exposición de trabajadores y otras personas a la zona regada; varían las exigencias de calidad de agua de riego. Así por ejemplo, el uso que requiere agua de mejor calidad, es el riego de cultivos de consumo crudo.

Restauración Ambiental y Usos Recreacionales

Algunos de estos usos son aumento de esteros y lagunas, ya sea con fines de preservación ambiental o de agrado como paseos en bote, pesca y natación.

Usos Industriales y Mineros

Los rubros industriales y mineros son importantes consumidores de agua frecuentemente reutilizan su propia agua residual de procesos, sin embargo no es muy común que las aguas grises tratadas sean empleadas en ellos. No obstante, en países como E.E.U.U., las industrias son demandantes de las aguas efluentes de plantas de aguas servidas, por lo que son potenciales usuarios de aguas grises recuperadas. Entre estos usos

se tiene: agua de refrigeración, agua de lavado, agua de procesos y riego de caminos. Lagunas de las industrias demandantes son las papeleras, la industria textil y la química.

Recarga de Acuíferos

En países desarrollados, se usa también esta opción. Entre los objetivos se encuentran: Establecer barreras a intrusiones salinas de la costa, ocuparlo como tratamiento adicional, aumentar acuíferos, proveer agua de reserva o para ser usada y prevenir la depresión de napa.

4.6. Parámetros de calidad del agua

El agua es uno de los recursos más utilizados en la industria, incluso sobrepasa con creces a los otros materiales. Tanto el agua de abastecimiento para la industria como las aguas residuales, contienen cierto grado de impurezas que varían de tipo y cantidad.

A continuación se presentan los parámetros (características) de las distintas aguas y con las cuales se cuantifica su utilidad.

Tabla 4.4: Características de las distintas aguas y sus parámetros de calidad

| Componente | Parámetro de calidad | Descripción |
|---------------------------------------|---|--|
| <i>Materia en suspensión</i> | Materia en suspensión, incluyendo la porción volátil y la orgánica. | La materia en suspensión puede dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratamiento a un medio acuático. Una cantidad excesiva de materia en suspensión puede obstruir el sistema de riego. |
| <i>Materia orgánica biodegradable</i> | Demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno. | Estas sustancias están compuestas principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas. Una vez vertidas en el medio ambiente, su descomposición biológica puede dar lugar al agotamiento del oxígeno disuelto en las aguas receptoras y a la aparición de condiciones anaeróbicas |
| <i>Patógenos</i> | Organismos indicadores, coliformes totales y coliformes fecales. | Los organismos patógenos presentes en un agua residual, tal como bacterias, virus y parásitos; pueden producir numerosas enfermedades transmisibles. |
| <i>Elemento nutritivos</i> | Nitrógeno, Fósforo, Potasio | El nitrógeno, el fósforo y el potasio son elementos nutritivos esenciales para el crecimiento de las plantas y su presencia en el agua aumenta el valor para el riego. Cuando se vierte nitrógeno o fósforo en el medio acuático, puede darse el desarrollo de formas de vida acuáticas indeseables. Cuando se vierten cantidades excesivas de estos elementos en el terreno, el nitrógeno puede llegar a contaminar las aguas subterráneas. |

| | | |
|--|---|---|
| <i>Substancias orgánicas estables o refractarias de tratamiento.</i> | Compuestos específicos, como fenoles, pesticidas e hidrocarburos dorados. | Estas sustancias orgánicas ofrecen gran resistencia a los métodos convencionales de tratamiento de agua residual. Algunas son toxinas en el medio ambiente y su presencia puede limitar la idoneidad de las aguas residuales para el riego. |
| <i>Actividad del ion hidronio</i> | Potencial de hidrogeno (pH) | El pH del agua residual afecta a la solubilidad de los metales así como a la alcalinidad del suelo. El intervalo normal para el pH de un agua residual municipal se sitúa entre 6.5 y 8.5 |
| <i>Metales pesados</i> | Elementos conocidos como Cadmio (Cd), Zinc (Zn), Níquel (Ni) y Mercurio (Hg) | Algunos metales pesados se acumulan en el medio ambiente son tóxicos para los animales y las plantas. Su presencia en el agua residual puede limitar su idoneidad para agua de riego. |
| <i>Sustancias inorgánicas disueltas</i> | Materia disuelta total, conductividad eléctrica, elementos concretos como sodio (Na), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Cloro (Cl) y Boro (B) | Un grado excesivo de salinidad puede perjudicar ciertos cultivos. Determinados iones como los cloruros, el sodio y el boro son tóxicos para ciertas plantas. El sodio puede causar problemas de permeabilidad en los suelos. |
| <i>Cloro residual</i> | Cloro libre y cloro combinado | Una concentración excesiva de cloro libre, superior a 0,05 mg/l, puede provocar quemaduras en las puntas de las hojas y estropear algunas especies de plantas sensibles. No obstante, la mayor parte del cloro presente en un agua residual es cloro combinado, que no perjudica a las plantas. Existe cierta preocupación por los efectos tóxicos derivados de los compuestos orgánicos que puedan llegar a contaminar las aguas subterráneas. |

Fuente: Tesis "Sistema automático recuperador de agua pluvial y aguas grises", Instituto Politécnico Nacional, Huerta Arenas Gustavo, Jiménez Téllez Eduardo, Prado Rodríguez Zeus, México Junio 2011

4.7. Riesgos a la Salud y Medioambiente

Vías de infección y Medidas de precaución

Las aguas grises son mucho menos contaminadas que las aguas negras, éstas también contienen excretas humanas provenientes de baños de duchas o tina y del lavado de ropas. Personas que gozan de buena salud pueden también excretar patógenos, los cuales son parte de la flora intestinal.

No hay registros de serios efectos en la salud humana por la reutilización de aguas grises. El riesgo de transmitir enfermedades a los humanos, asociados al uso de aguas grises domesticas en terrenos y jardines, es considerado como bajo. Sin embargo, parte de la población es más susceptible, esto son: niños, ancianos y personas con compromisos inmunológicos. [Franco07]

Posibles vías de infección

- Ingesta de agua contaminada, por situaciones casuales.
- Por el consumo de frutas o verduras crudas regadas con aguas grises.
- Inhalación de agua por aerosoles, producto de limpieza de patios, regado de caminos, por riego por aspersión etc.
- Contacto con medio de tratamiento, por ejemplo, con filtros y suelo contaminado, en el caso de irrigación. Transmisión por medio de manos contaminadas, por contacto con ojos, boca y fosas nasales, o indirectamente por tocar elementos contaminados.
- Transmisión por medio de mascotas, o insectos y ratones.

Medidas para minimizar las probabilidades de transmisión de enfermedades.

- Evitar contacto humano con aguas grises no tratadas y minimizarlo con las tratadas y suelo regado, por ejemplo, colocando barreras o carteles que adviertan que se debe evitar el contacto.
- Educación de trabajadores, en adecuados hábitos de higiene.
- Tratamientos adecuados al tipo de agua y uso.
- No regar con aguas grises sin tratar, y evitar hacerlo con aguas tratadas en plantas comestibles las cuales son consumidas crudas, a excepción de las frutas se encuentren separadas de la tierra regada.
- No acumular aguas grises excepto para regulación, a menos que sea tratada y desinfectada.
- Minimizar permanencia de agua en superficie y asegurarse que las aguas grises no creen molestias como olores y charcos.
- Mantener conexión a alcantarillado y prevenir cruce de tuberías de aguas grises con agua potable. Diferenciar tuberías según agua.
- Las aguas grises no deben contener químicos peligrosos. En caso de usar, por ejemplo, residuos de actividades como pintura, no se deben descargar al sistema de

aguas grises, y al lavar ropa contaminada, es preferible evacuar las aguas al sistema tradicional.

- El sistema de aguas grises debe estar fuera de áreas inundables.
- Los estanques acumuladores de aguas grises deben ser tapados, para evitar mosquitos.
- En caso de uso en riego, debe haber una distancia mínima entre el punto de aplicación de las aguas grises y la napa subterránea.
- En caso de riego, se debe preferir los horarios de bajo público.
- Preferir riego sub-superficial. [Franco07]

4.7.1. Efectos en el medio ambiente.

El principal beneficio de reutilizar el agua, en este caso las aguas grises, es la disminución de la demanda de agua potable. En lugares donde el agua es muy costoso, permite que ésta sea una forma económica de riego, pudiendo tener así cultivos, frutales etc, los cuales se traducen en fuente de alimento y/o ingreso. Por otro lado una posibilidad de ahorro importante de agua potable, es en los inodoros, una de las grandes demandas de agua al interior de la casa.

Otro efecto positivo del reúso de las aguas grises, incluso si éstas han recibido tratamiento, es el actuar como fertilizante en riego, aportando fósforo, nitrógeno y potasio al suelo y algunos micronutrientes como el boro. Sin embargo, en cantidades excesivas estos nutrientes pueden ser dañinos.

Uno de los principales riesgos ambientales es la contaminación de acuíferos, es por esto que algunos reglamentos incluyen restricciones al riego.

Las aguas grises contienen productos de limpieza ocupados en los hogares, los cuales pueden ser dañinos para las plantas. La mayoría de los detergentes, en particular los en polvo, contienen cantidades excesivas de compuestos de sodio, por lo que es mejor usar detergentes líquidos, en caso de reutilización en riego. También aportan compuestos de sodio, gran parte de los jabones de usos personal, los cuales se fabrican en base a hidróxido de sodio y se ocupa para ello cloruro de sodio, los jabones alternativos a éstos son los en base a potasio. [Franco07]

Los detergentes aportan grandes cantidades de fósforo a las aguas grises, el cual en exceso puede provocar problemas. El uso de detergentes altos en fósforo está prohibido en algunos países, sugiriéndose en cambio los detergentes en base a potasio.

El agua de la cocina presenta gran cantidad de material orgánico, lo cual constituye una fuente de nitrógeno para las plantas. Sin embargo, ésta es frecuentemente prohibida para el reúso, debido a su tendencia a ponerse séptica y a la rápida proliferación de microorganismos.

4.8. Tipos de filtros para Sistemas de tratamientos de Aguas

Carbón Activo

El nombre de carbón activo se aplica a una serie de carbones porosos preparados artificialmente para que exhiban un elevado grado de porosidad y una alta superficie interna. Estas características son las responsables de sus propiedades absorbentes, que son utilizadas ampliamente en muchas aplicaciones tanto en fase gas como en fase líquida. El carbón activo es un absorbente muy versátil, porque el tamaño y la distribución de sus poros en la estructura carbonosa pueden ser controlados para satisfacer las necesidades específicas de la tecnología actual y futura. Más aún las necesidades específicas de la industria pueden ser satisfechas mediante la posibilidad de preparar estos materiales con una gran variedad de formas físicas tales como polvo, granular, extrudido, fibra e incluso telas.

Zeolita Natural

Las zeolitas son una familia de minerales aluminosilicatos cristalinos. Actualmente se conocen un aproximado de cincuenta tipos de zeolitas naturales y más de ciento cincuenta se sintetizan para aplicaciones específicas como la catálisis industrial o como carga en la fabricación de detergentes.

La zeolita es el mejor sistema de filtración natural que existe para el tratamiento de agua ya que ofrece un efecto superior al de la arena o al de filtros de carbón, resultando en agua más pura con mejor productividad y requiriendo menos mantenimiento. La estructura altamente porosa de las zeolitas puede capturar partículas contaminantes de hasta cuatro micras. También pueden absorber algunos contaminantes orgánicos y olores no deseados.

Resumiendo, las zeolitas naturales pueden ofrecer una mejor calidad del agua, un mantenimiento más fácil y la reducción de la cantidad de agua necesaria. Las zeolitas ofrecen la utilidad necesaria para los filtros convirtiéndose así en un sistema de filtración eficiente para el siglo XXI.

Tratamiento de aguas grises

Existe una gran variedad de sistemas de sistemas de tratamiento para recuperar aguas grises. Estos sistemas ocupan procesos que pueden ser de tipo primario, secundario o terciario. Los tratamientos pueden ser químicos, como coagulación y floculación, físicos como filtración y decantación; biológicos como lodos activados, filtros biológicos aireados y húmedos; y de desinfección, como cloración, ozonificación y radiación UV.

Los tratamientos usados corresponden a los mismos que se aplican para agua potable o aguas servidas. La diferencia a los mismos que se aplican para agua potable o aguas servidas. La diferencia está en la composición del agua, que determina el nivel y el tipo de tratamiento a ocupar, así por ejemplo, en caso de considerar agua de cocina se debe incluir tratamiento secundario, para producir la degradación de la materia orgánica, o en caso de aguas grises lavadora, podría ser necesario usar un tratamiento terciario, con el fin de disminuir la alta carga de fósforo [Franco07]. A continuación se describen algunos tratamientos:

Filtro lento con arena

La filtración lenta con arena fue el primer método utilizado por muchas ciudades durante el siglo XIX. Estos filtros pueden eliminar eficazmente los microorganismos que causan enfermedades transportadas por agua incluso protozoos al igual que bacterias y virus. El agua tratada mediante estos sistemas se deja pasar lentamente a través de un lecho de arena de unos 0,6 a 1,2 metros de profundidad. En ruta, una combinación de procesos físicos y biológicos filtra el agua elimina los contaminantes. [Huerta&Jimenez11]

Después de su uso repetido, la arena se vuelve portadora de una multitud de bacterias, algas, protozoos, rotíferos, copépodos y gusanos acuáticos. Estos microorganismos ayudan al proceso de filtración mediante la eliminación de contaminantes, no obstante que pueden ser afectados por las temperaturas de aguas menores que 10 ° C. se dice que la arena que albergan estos organismos esta "madura", y esta es preferible a la arena limpia o nueva. Puede ser necesario que transcurran varias semanas o meses para madurar la arena, dependiendo del contenido y la temperatura del agua. El proceso eventualmente obstruye el lecho de arena y reduce las velocidades de los flujos hasta el punto en que sea necesario eliminar las obstrucciones, típicamente mediante la inversión del flujo, o retro lavado. [Huerta&Jimenez11]

Filtro de arena de sílice

El filtro de arena de sílice, también conocido como filtro mecánico, es un tipo de equipo de filtración de agua se utiliza principalmente para eliminar las impurezas granulares, sólidos en suspensión, coloides y otras sustancias en el agua.

Utiliza arena de sílice como el relleno. Su medio de filtración puede ser una o más sustancias entre la arena de sílice, antracita, cerámicas porosas granulares y arena manganeso. La altura de la capa de material filtrante es de más de 1200 mm. La granularidad del material filtrante y la altura debe estar en conformidad con los requisitos técnicos pertinentes.

Bajo condiciones normales de temperatura y una cierta presión, a través de la floculación, la absorción y la interceptación de medios de filtración, las impurezas en la solución original son eliminadas.

Además, el filtro de arena de sílice está equipado con dispositivos de protección e instrumentos de vigilancia. Con función de retro lavado y la suciedad u otro contaminante se pueden lavar rápidamente con una pequeña cantidad de agua. La exactitud de la filtración es de 0.005-0.01 m, y el material coloidal y de polímero de alta materia orgánica se puede quitar con eficacia.

Lagunas de Sedimentación

Es un tratamiento muy simple y de construcción económica, en ellas se genera sedimentación de sólidos y degradación anaeróbica de material orgánico, en general poseen una buena capacidad de sedimentación y estabilización. Requieren de menor operación y mantención que los estanque sedimentadores, necesitando generalmente, remoción de lodos solo 1 o 2 veces por año.

Su principal inconveniente es que requieren de gran disponibilidad de terreno, debido a que se diseñan para un alto tiempo de retención. Agregando a esto para asegurar su

operación continua, se requieren por lo menos dos unidades en paralelo. El sedimento extraído y el líquido efluente, requieren tratamiento adicional.

Tanque Séptico

Son muy usados en aguas servidas domésticas, para remover los sólidos de mayor tamaño. Están compuestos por 2 o 3 cámaras, en las cuales el lodo sedimenta y es estabilizado por digestión anaeróbica. El material disuelto y suspendido deja el tanque sin tratamiento. Cada cierto tiempo el lodo debe ser removido mediante bombeo.

Estanques sedimentadores

En ellos se produce decantación de partículas por gravedad. Remueven además una pequeña parte de los microorganismos, por fijación de éstos a las partículas. Para aumentar la remoción de sólidos, se puede agregar coagulantes e inducir a agitación, a fin a formar floculo, permitiendo remover partículas de menor tamaño, mejorando también la remoción de microorganismos.

Filtro UV

La desinfección de líquidos mediante uso de luz ultravioleta tiene muchas ventajas, ya que no deja residuos y tampoco altera su composición o propiedades como hacen otros tratamientos de carácter químico. La aplicación más común consiste en la colocación de un filtro UV en un tramo del conducto por donde circula el líquido. Al tratarse de una parte del proceso tampoco se invierte tiempo extra en tratamientos especiales ni pasos intermedios.

Estos filtros UV interceptan e inoculan los gérmenes a su paso por la luz ultravioleta; además la radiación UV destruye algas y protozoos e inhabilita así su expansión y contaminación.

4.9. Normas aplicables a Aguas Grises

En la reutilización de aguas grises deben considerarse los siguientes aspectos y las normas que los regulan:

Tabla 4.5: Normas chilenas aplicables a las aguas grises.

| Tema | Normativa aplicable |
|--------------|--|
| Agua | <p>Decreto Supremo N° 609/1998. Del Ministerio de Obras Publicas sobre Norma de Emisión para Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Industriales Líquidos a Sistemas de Alcantarillado.</p> <p>Decreto Supremo N° 90/2000, del Ministerio Secretaria General de la Presidencia sobre Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales.</p> <p>Decreto Supremo MOP N° 50/02 que determina el RIDDA “ Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado”</p> <p>Boletín 9085-01 Establece una regulación para la recolección y disposición de aguas grises. Lo dispuesto en los artículos 1°, 19° y 63° de la Constitución Política de la República, en el Decreto con Fuerza de Ley N° 382 de 1988, del Ministerio de Obras Públicas, Ley General de Servicios Sanitarios y su reglamento.</p> <p>Actualización para reutilización de aguas grises del “Reglamento General de alcantarillados particulares, fosas sépticas, cámaras filtrantes, cámaras de contacto, cámaras absorbentes y letrinas domiciliarias”, Decreto Supremo N° 236 de 1926 del Ministerio de Higiene, Asistencia Previsión Social y Trabajo.</p> <p>Norma Oficial Chilena NCh 1333. Of 78. Modificada en 1987. Requisitos de calidad del agua para diferentes usos. Esta norma establece los requisitos de calidad de agua de acuerdo a uso, en nuestro caso para riego.</p> |
| Salud | <p>Decreto Supremo N° 594/1999 Ministerio de Salud, modificado por el Decreto Supremo N° 201/2001. Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas de los Lugares de Trabajo.</p> |

Fuente: Elaboración Propia

4.10. Aplicación a casos en Chile

En Chile se han preocupado por el consumo responsable del agua potable, como medida se han realizado guías y manuales para que las personas implementen sistemas de tratamiento y reutilicen sus aguas grises. La reutilización de aguas grises en Chile se encuentra en pañales, recientemente ha comenzado a utilizarse y los primeros sistemas implementados están en el norte de Chile, donde los recursos hídricos son más escasos y por lo tanto hay mayor incentivo en cuidar el recurso hídrico.

Estos sistemas no se han masificado debido a que no existe legislación vigente que los regule y son los mismos proyectos los que presionan para un cambio en la ley. Tal es el caso de nuevo edificio de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile, el que contempla un sistema de recolección diferenciada de Aguas Grises y Aguas Negras. Este no ha sido aprobado por las autoridades competentes, por estar ubicado en zonas urbanas con concesiones sanitarias otorgadas y por no estar contemplado en la regulación vigente. Por esto, la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) estima necesario que, para impulsar un proceso de modificación normativa que permita la regeneración y reutilización de aguas grises, debe existir una política nacional clara, impulsada preferentemente por el Ministerio de Obras Públicas, MOP y su Dirección de Obras Hidráulicas, en coordinación con el Ministerio de Salud, la SISS y la Dirección General de Aguas (DGA).

Así como también se destaca la guía realizada por la Comisión Nacional de Medio Ambiente que está dirigida a Establecimientos Educacionales, la cual consiste en una herramienta que facilite la implementación de un sistema de reutilización de aguas grises.

La Guía para la utilización de aguas grises de lavamanos en establecimientos educacionales del 2006, está destinado a servir de guía para la instalación de un sistema de reciclaje de aguas grises, a través de la captación, filtrado y distribución para riego de áreas verdes. Esta guía fue elaborada a partir de la sistematización de iniciativas desarrolladas por establecimientos educacionales en la región de Tarapacá, que lograron la instalación y puesta en operación de sistemas de reutilización de aguas. El propósito de esta guía es dar a conocer el reciclaje de las aguas grises utilizando su proceso de implementación y funcionamiento como una oportunidad educativa con un enfoque holístico. Con la implementación de este tipo de iniciativas, del uso eficiente del agua, se puede lograr un promedio de ahorro de 35% de agua, generando una baja significativa en la cuenta.

Algunos de los primeros sistemas de reutilización de aguas grises implementados en el país son, en primer lugar, el proyecto "Recuperación de Aguas Grises para la Forestación y Creación de Áreas Verdes" (2007) del Colegio Parroquial Padre Negro de la comuna de Caldera en la región de Atacama, en el que se instaló un sistema de recuperación de aguas grises provenientes de duchas y lavamanos. También otros establecimientos educacionales han adoptado este sistema, como el Liceo Confederación Suiza, que implementa un tratamiento de aguas grises, donde reutilizan en riego el agua que utilizan para lavarse las manos.

El sistema consiste básicamente en desviar la descarga de las aguas grises provenientes de los lavamanos del establecimiento y almacenarlas en un estanque, previo paso por un filtro de membrana o arena. Posteriormente el agua es impulsada para alimentar un sistema de riego por aspersión o por goteo, instalado para regar las plantas y áreas verdes, que han preparado previamente distintos grupos de trabajo o cursos del establecimiento.

El CPL en el año 2012, lanzó una Guía de Mejores Técnicas Disponibles para la Reutilización de Aguas Grises en el Sector Gastronómico y Alojamiento Turístico. Esta guía consiste en una herramienta para la identificación e implementación de oportunidades de mejora en las empresas del sector. Su objetivo fundamental es presentar y difundir una selección de Mejores Técnicas Disponibles que permita mejorar la competitividad y el desempeño ambiental de las empresas de menor tamaño del sector.

Esta herramienta está enfocada a la reutilización de aguas grises ocupadas en los establecimientos de alojamientos turísticos y gastronómicos.

Las soluciones de la reutilización de las aguas grises según la guía del CPL, son las siguientes:

- Permite reutilizar un recurso aprovechable (aguas grises) tras un tratamiento previo.
- Evita la potabilización innecesario de un volumen de agua.
- Reduce el volumen de las aguas residuales a tratar en las correspondientes plantas de tratamiento.

Los beneficios de la reutilización de las aguas grises según la guía del CPL, son los siguientes:

- Ahorro de hasta el 30% del consumo de agua diario de un alojamiento turístico.
- Disminución de los costos de agua potable y generación de aguas residuales.
- Reducción del caudal de agua residual que se envía a las fosas sépticas o plantas de tratamiento.
- Posicionamiento estratégico como establecimiento sostenible y respetuoso con el medio ambiente.
- Posibilita la reutilización de hasta un 70% de las aguas grises para su reutilización en el riego del jardín.
- Permite disponer de un recurso para limpieza de accesos exteriores.

La CONAMA ha fomentado proyectos de iniciativa, con auspicios de mineras:

- Liceo Jovina Naranjo Fernández (Arica).
- Escuela José Miguel Carrera (Arica).

A continuación se da una breve descripción de estos proyectos,

Cada establecimiento cuenta aproximadamente 800 alumnos.

Los sistemas están constituidos de la siguiente forma:

- Filtro de Malla: Retiene elementos de mayor tamaño.
- Filtro de Arena (Opcional): Retiene sólidos suspendidos.
- Estanque de Acumulación.
- Bomba.

- Sistema de Riego por goteo y aspersión.

Los resultados obtenidos de la implementación del sistema son:

- Reducción en un 35% la cuenta del agua.
- Creación de mayor conciencia en uso de agua en alumnos.
- Reforestación: 66 arboles

Existen tesis a nivel nacional enfocadas al tema de reutilización de aguas grises, en el 2007 se presentó la memoria “Tratamiento y Reutilización de aguas grises con aplicación a caso en Chile” realizada por María Verónica Franco Alvarado; el cual tiene como por objetivo entregar una herramienta para mejorar la eficiencia del uso del agua potable en el país, introduciendo el tema de reutilización de aguas grises, con la finalidad de aportar un método que permita reducir la demanda de agua potable. El estudio se realizó en dos domicilios ubicados en Calama y en Vallenar respectivamente. Se escogieron estas ciudades ya que la II y III región presenta escasas hídrica.

El estudio afirma que entre un 60% a 70% del agua ocupada al interior de una vivienda corresponde a aguas grises. Además de ser recuperadas más fácilmente que un agua servida, por no incluir el agua de inodoros, pudiéndose destinar a diversos usos, entre ellos diversos tipos de riego, estanques de inodoros, refrigeración, lavado de autos, lavadoras, etc.

De acuerdo a los estudios realizados en este trabajo las plantas y cultivos tienen un mayor crecimiento al ser regadas con aguas grises que con agua cruda. Si bien, los nutrientes disponibles en las aguas disminuyen con los tratamientos, estos no se eliminan totalmente, siendo las aguas recuperadas un aporte para las plantas.

4.10.1. Situación de otros países

En Estados Unidos la normativa sanitaria se trabaja a nivel de estados, por lo que solo algunos permiten el aprovechamiento de Aguas Grises. California, por ejemplo, cuenta con una de las primeras regulaciones de Aguas Grises del mundo (1992) y actualmente cuenta con cerca de 2 millones de sistemas de tratamientos de aguas grises, donde solo 10 mil cuentan con los permisos exigidos por la ley. Aun así no se han reportado problemas sanitarios asociados a éstos. Bajo esta normativa está permitido el riego de áreas verdes siempre y cuando no sea mediante aspersión ni se utilice para el riego superficial de cultivos. Se obliga a contar con una conexión al alcantarillado público en caso de emergencia.

En Australia la situación es similar: existen lineamientos generales que reconocen a las aguas grises pero es cada estado el encargado de definir su normativa. Aun así, existe gran libertad para desarrollar este tipo de proyectos siempre que las aguas grises pueden ser utilizadas siempre que cumplan los estándares de calidad fijados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Ministerio de Salud. Así, está autorizado el uso de aguas grises y reposición de agua en inodoros y uriniales. En la práctica esta libertad no es completa: hay estados donde es obligatoria la aprobación del sistema de tratamiento de aguas grises por parte de la autoridad, mientras que hay otros que no⁶.

⁶ “Planta de reutilización de aguas grises domésticas, comuna de La Pintana” Empresa Puentes UC, Escuela de Ingeniería Industrial y Sistemas, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago 25 de junio 2012.

5. Metodología

En este capítulo se presenta, en primer lugar, una síntesis del indicador Huella Hídrica. Se explica el objetivo de este indicador, los componentes que lo conforman, y las fórmulas que pueden ser utilizadas para su cálculo. A continuación, se presentan los procesos que se realizan en el EH de la ENAP. Luego se muestran los consumos de agua en el EH.

A continuación se presenta el esquema de la metodología de la Huella Hídrica, los puntos de la metodología será explicados en este capítulo.

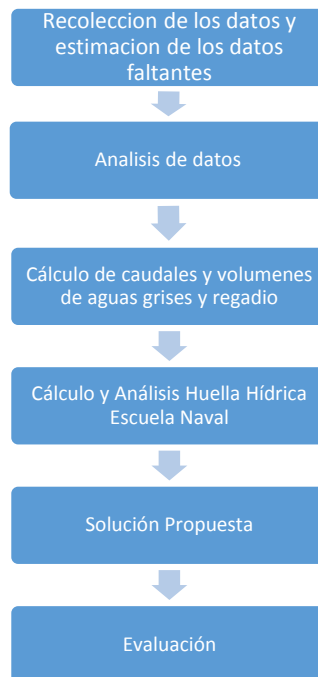


Figura 5.1: Esquema de la metodología de la Huella Hídrica

Fuente: Elaboración Propia

5.1. Indicadores de Sustentabilidad y la Huella Hídrica.

A mediados de la década del 90, se comenzó a desarrollar un índice único que pudiera ser utilizado para medir sustentabilidad, la Huella Ecológica. Este índice comenzó midiendo los impactos que produce una población, expresados en las hectáreas de ecosistemas que requiere dicha población para generar recursos naturales consumidos por esta área y la degradación y asimilación de los desechos que produce utilizándose, de este modo, para medir niveles de sustentabilidad de regiones y países. Posteriormente, esta herramienta comenzó a ser utilizada por empresas y cualquier tipo de organización, transformándose en un indicador reconocido a nivel mundial [Garces11]. A partir de este indicador comienza a surgir una nueva gama de instrumentos, cuyo objetivo es cuantificar variados aspectos relacionados con la sustentabilidad. Un indicador especialmente popular asociado al tema del calentamiento global es la Huella de Carbono. Además, comienza a surgir en las grandes

empresas, interés por temas de sustentabilidad, como parte de su “responsabilidad social corporativa” [Hoekstra et al.11 a]. Actualmente, los indicadores son cada vez más reconocidos como herramientas útiles para la formulación de políticas y para la comunicación pública acerca de la transmisión de información sobre los rendimientos de los países y las industrias, en campos como el medio ambiente, la economía, la sociedad o el desarrollo tecnológico [Pinto12].

Sin embargo, en un pasado reciente han existido pocas reflexiones en la ciencia y en la práctica, sobre la gestión del agua en cuanto a su consumo y contaminación, a lo largo de toda la producción de los bienes y su cadena de suministro [Hoekstra et al.,11 a]. Las empresas, en general, manejan mucha información sobre el agua que utilizan, pero no realizan un adecuado manejo de esta información, tanto al interior de la empresa, como en la presentación de esta información hacia el exterior. [Pinto12]

Es por ello que existe escasa conciencia acerca de los factores efectivamente influyentes en el consumo de los volúmenes de agua (temporal y espacialmente) y la contaminación asociados con un producto de consumo final [Hoekstra et al., 11 a]. Una mayor comprensión de este fenómeno puede servir de base para mejorar la gestión de los recursos de agua dulce del planeta y puede ser útil para descubrir la relación entre el uso y el consumo del agua. De esta manera, se puede generar la formulación de nuevas estrategias de gestión del agua, al identificar nuevos factores que pueden influir en el uso adecuado de este elemento [Garces11].

Con el fin de intentar resolver las dificultades anteriormente nombradas, han surgido diversos indicadores relacionados con el uso de agua para la producción de bienes. Los más utilizados son el Agua Virtual, el Agua Incorporada y la WFP, los cuales usan diversas metodologías para su aplicación, siendo la más utilizada la Contabilidad del Agua.

La Contabilidad de Agua, más conocida por su nombre en inglés Water Accounting, propone un modelo simplificado de cuantificación del agua utilizada en un proceso de producción de bienes [Garces11]. En este modelo se reconoce tanto las entradas y salidas del sistema, como las acciones de operación dentro de éste.

De los indicadores mencionados, el Agua Virtual mide la cantidad de agua que se utiliza para la producción de un bien, el que al ser posteriormente exportado, genera un flujo de agua hacia el exterior del país o la región en que fue producido. Japón, por ejemplo, importa cerca del 65% del agua que usa para producir los bienes y servicios que consume su población. Al importar cultivos y bienes que utilizan agua para su producción, se importa Agua Virtual desde otros países [Pinto12]

El Agua Incorporada es el total de agua utilizada para producir un bien o servicio, la que puede obtenerse utilizando los datos reportados por las empresas en sus informes de sustentabilidad. Este indicador no explicita aspectos fundamentales que pueden afectar su valor, tales como, las condiciones climáticas, el origen del agua, el lugar donde el agua es devuelta al medio, por nombrar algunos [Pinto12].

Finalmente, el indicador WFP (por sus siglas en inglés), propuesto el año 2002 por la Water Footprint Network cuantifica, realizando un Análisis de Ciclo de Vida, los consumos de

agua dulce originados tanto en la producción del producto, como en la alteración del agua utilizada.

Prestar atención al agua dulce es importante porque es escasa; constituye solo el 2,5 por ciento del agua del planeta, el 70 por ciento de ella en forma de hielo y nieve de las regiones montañosas, del Ártico y la Antártida [WWF12].

Las cuantificaciones de la WFP de productos han sido realizadas en su mayoría por la WFN, cuantificando hasta la fecha la huella de más de 100 productos, por otra parte, los países en la actualidad se han dedicado a cuantificar sólo sus huellas nacionales.

Debido a que hay una necesidad urgente de soluciones metodológicas para la adecuada cuenta para el agua dulce y el uso relacionado con impactos ambientales de vida de un producto es que, la WFP como un indicador internacional suma adeptos y está en estudio para ser considerado próximamente como norma regulada por la International Organization for Standardization (ISO). Correspondiendo a la ISO 14046, esta norma internacional especificará requisitos y directrices para evaluar informes de huella hídrica basada en Análisis Ciclo de Vida, además de la terminología, comunicación, etapas importantes a tener en cuenta, coherencia con la huella de carbono.

5.2. La Huella Hídrica y su ciclo de vida

La Huella Hídrica de un producto se define, como el volumen total de agua dulce que se utiliza directamente o indirectamente para producir un bien [Hoekstra et al., 11]. Se calcula teniendo en cuenta el consumo de agua directo e indirecto asociado a la contaminación en todos los pasos del proceso productivo.

La HH define como el volumen total de agua consumida para la fabricación de dicho bien, medido a lo largo de su cadena de suministro. Este indicador muestra, específicamente en el espacio y el tiempo, los volúmenes de agua consumida de diversas fuentes utilizadas y volúmenes de agua alterada por tipo de contaminante.

La HH es un indicador de toda el agua que utilizamos en nuestra vida diaria; la que utilizamos para producir nuestra comida, en procesos industriales y generación de energía, así como la que ensuciamos y contaminamos a través de esos mismos procesos.⁷

La HH es un indicador que determina la cantidad de agua consumida por un producto a lo largo de su cadena de suministro y posteriormente, mide los diferentes impactos asociados a estos consumos. Este indicador tiene tres componentes, dependiendo del origen del agua consumida y las alteraciones con que el agua es devuelta al sistema: la HH Verde, la HH Azul y la HH Gris.⁸

La Huella Hídrica de un bien se define como el volumen total de agua consumida para la fabricación de dicho bien, medido a lo largo de su cadena de suministros. Este indicador muestra, específicamente en el espacio y el tiempo, los volúmenes de agua consumida de

⁷ AgroDer, 2012. Huella hídrica en México en el contexto de Norteamérica. WWF México y AgroDer. México DF.

⁸ Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. and Mekonnen, 2011. The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Earthscan, London, UK

las diversas fuentes utilizadas y los volúmenes de agua alterada por tipo de contaminante [Hoekstra et al., 11]. Para calcular la HH se realiza un análisis del ciclo de vida del producto en estudio.

El ACV es una metodología desarrollada y formalizada en 1990 por la SETAC (Sociedad Toxicológica Medioambiental y Química), utilizada por diversas instituciones a nivel mundial en la evaluación y planificación ambiental. Esta metodología está orientada a la determinación de los impactos ambientales del sistema en estudio. El Análisis de Ciclo de Vida contempla todas las etapas de la vida de un producto, y considera a su vez, todas las materias primas que se utilizan para su producción. En el indicador HH, se realiza un ACV para identificar todos los consumos, directos e indirectos de agua dulce en la producción del producto o servicio, así como la generación de aguas residuales.

El primer paso en la aplicación de la WFP, consiste en realizar una contabilidad de agua, en otras palabras, medir toda el agua que se consume en la fabricación de un producto. Después de esto, se debe realizar una evaluación de los impactos asociados a ese consumo de agua, y finalmente una evaluación de todos los impactos agregados, que son asociados al consumo de agua de este producto [Hoekstra et al., 11b]. En este trabajo, por tratarse de una primera aplicación de la metodología de la WFP en la conservación de mariscos, sólo se estudiará el primero de estos pasos, correspondiente a la contabilidad del consumo de agua en la fabricación de un bien.

5.3. Contabilidad de la Huella Hídrica.

Hoekstra et al. (2011) establecieron algunas premisas para mantener la coherencia entre los diferentes tipos de contabilidad de la “Huella Hídrica”:

- La HH de un “proceso o etapa” es el elemento básico para calcular la HH. Se puede expresar en $\text{m}^3 \text{año}^{-1}$ o $\text{m}^3 \text{unidad de producto}^{-1}$.
- La HH de un producto es igual a la suma de la HH de los distintos procesos o etapas necesarios para producir un determinado producto, considerando toda la producción de la cadena de suministro. Se puede expresar en $\text{m}^3 \text{unidad de producto}^{-1}$, $\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, $\text{m}^3 \text{t}^{-1}$, $\text{m}^3 \text{unidad de producto}^{-1}$.
- La HH de un consumidor es igual a la suma de la HH de todos los productos consumidos por el consumidor. Se puede expresar en $\text{m}^3 \text{año}^{-1}$ o $\text{m}^3 \text{“per capita”}$.
- La HH de una comunidad o conjunto de consumidores (municipio, provincia, comunidad autónoma o país) es igual a la suma de la HH de todos los miembros o integrantes. Se puede expresar en $\text{m}^3 \text{año}^{-1}$.
- La HH de una empresa o negocio es la suma de la HH de los productos finales o transformados que produce la empresa. Se puede expresar en $\text{m}^3 \text{año}^{-1}$, o $\text{m}^3 \text{“per cápita”}$.
- La HH de un área geográfica determinada (cuenca hidrográfica, municipio, provincia, país) es la suma de la HH de todos los procesos que tienen lugar en esa área geográfica. Se puede expresar en $\text{m}^3 \text{año}^{-1}$.
- La HH total de la humanidad es la suma de la HH de todos los consumidores del mundo (habitantes), o lo que es lo mismo, es igual a la suma de la HH de todos los bienes y servicios de consumo finales que se consumen anualmente. También es igual a la suma de toda el agua consumida o contaminada en los procesos que se llevan a cabo a nivel mundial. Se puede expresar en $\text{m}^3 \text{año}^{-1}$, o $\text{m}^3 \text{“per cápita”}$.

Para evitar la doble contabilidad de la HH de un producto final (listo para su consumo), se asigna siempre la HH del proceso al producto final, o se la divide entre los productos que

requieren dicho proceso. No se debe sumar la HH de productos intermedios para evitar la redundancia en la contabilidad de la HH.

En el cálculo de la HH de un proceso, [Hoekstra et al. 11] incluye a la HH azul, la HH verde y la HH gris. La HH azul se incluye porque cuantifica la cantidad de agua disponible que es consumida de un periodo de tiempo determinado, por un grupo de personas. Entendiéndose, que las aguas superficiales y subterráneas no consumidas o utilizadas, sirven para mantener los ecosistemas más que dependen de ellas.

En el caso de los productos agrícolas, el contenido azul de una cosecha se define como la suma de la evaporación del agua de riego en campo y del agua de los canales de riego. En el caso de la producción industrial y el uso doméstico de agua, el contenido de agua azul del producto o servicio es igual a la fracción de agua tomada de aguas superficiales o subterráneas que se evapora y, por lo tanto no regresa al sistema del que provino.

5.4. Huella Hídrica Verde

La HH Verde se refiere a la parte de la precipitación que se almacena en el suelo o que temporalmente se queda en la parte superior del suelo o la vegetación. Con el tiempo, esta parte de la precipitación se evapora o transpira a través de las plantas. El agua verde puede ser productiva para el crecimiento del cultivo pero no toda el agua verde puede ser absorbida por los cultivos, porque siempre existirá la evaporación del suelo y porque no todas las épocas del año o áreas son adecuadas para el crecimiento de los cultivos.⁹

En resumen, la HH verde es el volumen de agua de lluvia (precipitación efectiva), que se utiliza en la industria o en la agricultura durante el proceso de producción. La HH Verde en una etapa de procesos es igual a:

$$HH\ Verde = Agua\ Evaporada\ Verde + Agua\ verde\ incorporada\ al\ producto$$

5.5. Huella Hídrica Azul

La HH Azul, se refiere al consumo de los recursos hídricos azules (agua dulce), superficial o subterránea, en toda la cadena de producción de un producto. Consumo se refiere a la pérdida de agua en cuerpos de agua disponibles en la superficie o acuíferos subterráneos en el área de la cuenca. En general, toda aquella agua que no corresponda a agua verde, y que sea manipulada o controlada para ser utilizada en los procesos en estudio, se considera agua azul [Pinto12]

El agua consumida que contribuye a la HH Azul se calcula como aparece en la siguiente fórmula y se explican a continuación [Hoekstra, et al., 11].

$$HH\ Azul = AE + AI + FR$$

- Agua Azul Evaporada (AE): Corresponde a toda el agua azul que se evapora desde suelos, cultivos, o espejos de agua.

⁹ “Determinación de la Huella del Agua y Estrategias de manejo de recursos Hídricos”. Instituto de investigaciones agropecuarias, Ministerio de agricultura Gobierno de Chile. La Serena, 2013, Chile.

- Agua Azul que es incorporada dentro del producto (*AI*): Corresponde al agua que está contenida en el producto final del proceso que se esté estudiando.
- Flujo de Retorno (*FR*) : Este último componente se refiere a la parte devuelta a la cuenca que no está disponible para su reutilización dentro de la misma cuenca hidrográfica en el mismo plazo de retirada, ya sea porque se devuelve a otro sistema de captación (o se vierte al mar) o por que se devuelve en otro periodo de tiempo.

Para el cálculo de la HH total, es necesario definir de manera previa, cuales son los límites espaciales de los procesos en estudio, los que puede corresponder, por ejemplo, a los límites geográficos de una cuenca hidrográfica. Una vez que estos límites hayan sido definidos, el agua extraída generará un aporte a la Huella Hídrica Azul [Pinto12].

El término “agua consumida” no significa que el agua desaparezca, ya que dentro del ciclo del agua, está siempre regresa a algún lugar, sino que se refiere a que es agua que deja de estar disponible en sistema definido previamente, para otros posibles usos.

5.6. Huella Hídrica Gris

La HH Gris es un indicador que busca cuantificar las alteraciones de la calidad del agua fresca que ha sido utilizada en los procesos y ha sido devuelta a un cuerpo de agua receptor. Se define como el volumen de agua dulce que se necesita para asimilar la carga de los contaminantes provenientes del proceso productivo, en relación a las normas ambientales de calidad del agua. Se calcula como el volumen de agua que se necesita para diluir los contaminantes y llevar el agua hasta los estándares de calidad de agua acordados.

A continuación se presenta la fórmula para el cálculo de la HH Gris.

$$HH\ Gris = \frac{Vef (Cef - Cnat)}{Cmax - C nat}$$

Donde:

HH Gris: HH Gris asociada al producto (m³).

Vef: Volumen de agua descargada o devuelta al sistema (m³).

Cef: Concentración del contaminante en estudio, que se descarga al sistema (mg/L).

Cnat: Concentración natural de dicho contaminante en el lugar descarga (mg/L).

Cmax: Concentración máxima permitida por norma para el efluente (mg/L).

5.7. Cuantificación de la Huella hídrica

5.7.1. Identificar las unidades a evaluar

Se debe identificar las unidades de la ENAP a evaluar. Por las características de las actividades de la ENAP se cuantificarán las HH de procesos. Las unidades administrativas deben ser evaluadas únicamente desde el enfoque del consumidor. Las unidades operativas deben ser evaluadas desde el enfoque de consumidores (funcionarios) y de procesos identificados. Las unidades que cuentan con servicios, deben evaluarse desde el enfoque de consumidores tanto para funcionarios como personas que se benefician del servicio.

Las unidades que serán evaluadas a través de la HH serán los procesos de los baños precisamente las actividades de duchas y lavamanos, de los cadetes y funcionarios de la ENAP [SASA12]

5.7.2. Balance de masa

Para realizar el cálculo de la Huella Hídrica es necesario determinar el balance hídrico por unidad, que posteriormente se agregará para obtener el balance hídrico total de todo el sistema analizado. Se debe tener identificados los datos (volumen y concentración) de afluente y efluente, correspondientes a la unidad evaluada, además de identificar los procesos en que se consume.

La siguiente figura se puede observar el balance hídrico que se debe realizar para identificar el uso y consumo de agua.

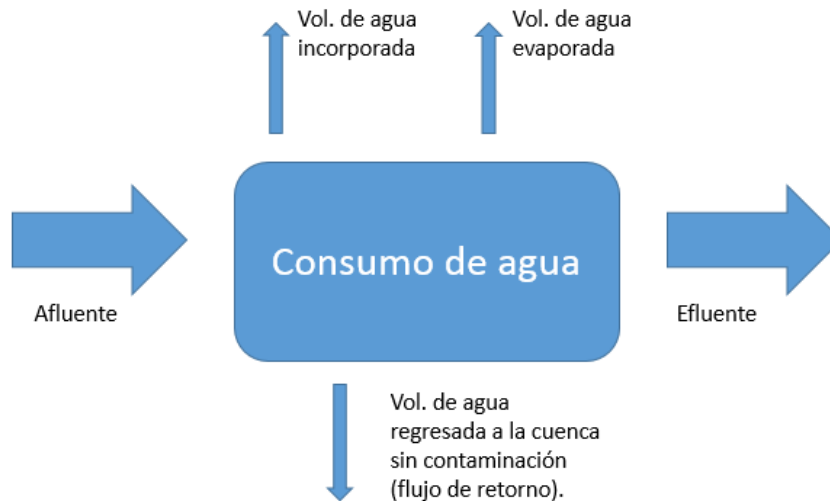


Figura 5.2: Balance de masa

Fuente: Datos obtenidos de "Manual de Evaluación Huella Hídrica", SASA 2012. Elaboración Propia.

5.7.3. Recolección de datos

Se deben identificar las fuentes de datos para obtener la información más confiable posible. También se debe identificar las fuentes bibliográficas que apoyen los datos obtenidos y permitan estimar datos faltantes.

Tabla 5.1: Información y fuentes para cada una de las HH

| Huella Hídrica | Información | Fuente | Forma de estimación |
|-----------------------|---|---|---|
| HH Azul | Facturación mensual de agua (m ³) | Facturas emitidas mensualmente por la empresa de agua potable | Consumo per cápita por funcionario estimado con datos de otras unidades. |
| | Identificación y uso de fuentes por parte de los funcionarios | Encuestas a los funcionarios y visitas | Valores promedio de las evaluaciones tomando en cuenta que las fuentes que siempre se utilizaran en una oficina son el inodoro y el lavamanos. Si tiene actividades operativas se puede buscar información para incluir o excluir las duchas. |
| | Uso de agua en procesos operativos, así como el porcentaje de evaporación e incorporación | Datos propios de la unidad y visitas y datos bibliográficos (WFN) | Características estándares de actividades operáticas tomadas en cuenta. Características técnicas de equipos utilizados. |
| HH Gris | Concentración de afluentes por parámetros. | Datos monitoreados por las empresas de agua potable. Resultado de laboratorios, datos bibliográficos. | Datos bibliográficos de calidad de agua potable. Concentración de agua potable de ciudades con características similares. |
| | Concentración de efluente por parámetros | Resultado de laboratorios y datos bibliográficos. | Datos bibliográficos de calidad de efluentes administrativos u operativos. |
| | Concentración máxima establecida por ley por parámetros. | Normativa local en materia hídrica. | Parámetros de otros países que tengan similitud con la normativa del país. |

| | | | |
|------------------|--|---------------------------------------|---|
| | Concentración natural de afluente por parámetros. | Normativa local en materia hídrica. | Parámetros de otros países que tengan similitud con la normativa del país. |
| HH Verde | Superficie de cobertura de áreas verdes | Datos del Gobierno | Datos locales de superficie de áreas verdes de años pasados. Información sobre el crecimiento o decrecimiento de áreas verdes. |
| | Tipo de cobertura de áreas verdes | Datos del Gobierno | Dependiendo de las características de la superficie se puede asumir un porcentaje de cobertura de pasto y arbustos. |
| | Datos de CROPWAT | CROPWAT | El programa presenta una bases de datos que se puede utilizar para usar los parámetros más cercanos a la realidad para obtener resultados |
| Indirecta | Consumo de materiales por parte de las unidades del Gobierno Municipal | Datos del Gobierno | |
| | Equivalentes de Huella Hídrica para materiales consumidos. | Base de datos Water Footprint Network | |

Fuente: Datos obtenidos de "Manual de Evaluación Huella Hídrica", SASA 2013. Elaboración Propia.

6. Aplicación de la metodología

A continuación se presenta el diagrama de la reutilización de aguas grises:

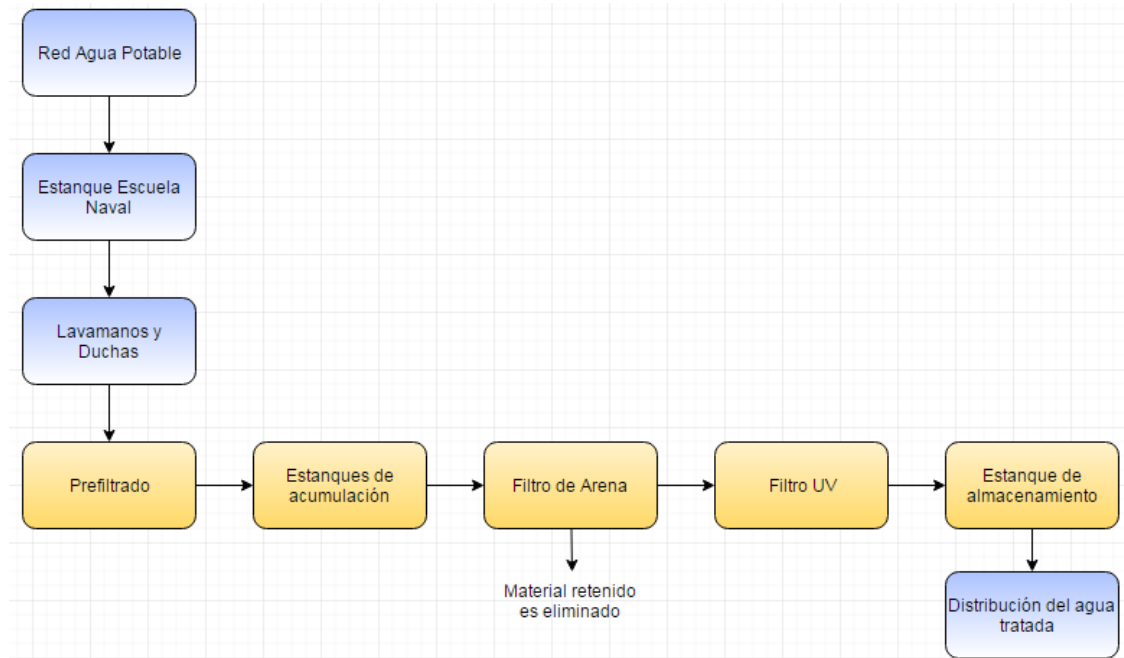


Figura 6.1: Diagrama de la reutilización de aguas grises

Fuente: Elaboración Propia

El agua a reutilizar será obtenida desde los baños, pero solo las aguas grises, es decir de duchas y lavamanos. Para obtener estas aguas grises y que no se mezclen con las aguas negras, las separaremos al momento de llegar al shaft de descarga. En este punto las aguas negras seguirán su curso hacia el alcantarillado y las aguas grises serán redirigidas hacia los estanques de acumulación.

Luego de enviar las aguas grises por la descarga, se utilizara un prefiltrado en forma de rejilla o tamiz que servirá para retener los sólidos de mayor tamaño que puedan venir en las aguas grises. El cual deberá ser revisado una vez a la semana. Luego se contara con un estanque de acumulación, en caso de que el sistema de tratamiento de aguas sea sobrepasado por la cantidad de aguas grises se utilizara un rebosadero el cual estará conectado al alcantarillado. Por otro lado, si no existe producción de aguas grises el sistema estará conectado a la red de agua potable.

Para que la desinfección del agua mediante el sistema UV sea efectiva, se requiere disminuir la cantidad de sedimentos que puedan traer las aguas grises, mediante el filtrado de arena de sílex o sílice.

La parte más importante es la etapa del tratamiento de las aguas grises, la cual se compone de un filtro de arena de sílice, se utilizara este filtro porque:

- Puede retener partículas de menor tamaño, además no existe otro método que consiga un tratamiento del agua tan efectivo sin aplicar un tratamiento físico, químico o bacteriológico agresivo.
- La arena del filtro se puede lavar utilizando un retro lavado para para limpiar el material filtrante y enviarlo al desagüe.
- En cuanto a la mantención del cambio del material filtrante se realiza cada dos años y solo se debe chequear el material cada 4 meses.
- No existe la posibilidad de contaminar cursos de agua cercanos, ya que no se utilizan elementos químicos. Además los lodos se puede usar como fertilizantes naturales para los cultivos.

Ya con el proceso descrito, el agua todavía sigue con carga biológica, a pesar de que el nivel de turbidez se ha reducido considerablemente.

Luego de pasar por el filtro de arena que elimino los sólidos en suspensión coloides el agua pasará a través de un filtro UV para su desinfección definitiva, se utilizara este filtro porque:

- En este proceso se desintegran todos los microorganismos patógenos, es decir se esteriliza el agua.
- Estos filtros UV interceptan e inoculan los gérmenes a su paso por la luz ultravioleta; además la radiación UV destruye algas y protozoos e inhabilita así su expansión y contaminación.
- La desinfección de líquidos mediante uso de luz ultravioleta tiene muchas ventajas, ya que no deja residuos y tampoco altera su composición o propiedades como hacen otros tratamientos de carácter químico.

Descripción del filtro de arena de sílex: Utiliza arena de sílice como el relleno. Su medio de filtración puede ser una o más sustancias entre la arena de sílice, antracita, cerámicas porosas granulares y arena manganoso. La altura de la capa de material filtrante es de más de 1200 mm. La granularidad del material filtrante y la altura debe estar en conformidad con los requisitos técnicos pertinentes.

Descripción del filtro UV: El filtro de desinfección UV consiste en un tubo de acero inoxidable de 110 mm de diámetro en cuyo interior se instala una lámpara continua de 70 cm de longitud que emite luz UV, capaz de destruir el ADN de las bacterias.

Finalmente el agua que está limpia debemos decidir su uso, en este caso será para el regadío de las áreas verdes, el cual se efectuara a través de un sistema de bombeo, para regar las área de la cancha de futbol y el patio del buque. Todo el sistema de tratamiento de aguas contará con un sistema de control, el cual resguardara el equipo ante cualquier eventualidad, y programara el regadío de las áreas verdes.

En la siguiente tabla se indica la cantidad de aguas grises que se obtendrán de duchas y lavamanos del Edificio de Habitabilidad de la Escuela Naval.

Tabla 6.1: Estimación de las aguas grises

| Descripción | Cantidad | Unidad |
|--|-----------------|---------------------|
| Aguas Grises Duchas y lavamanos | 41,12 | m ³ /día |

Fuente: Elaboración Propia

6.1. Cálculo de los caudales y volúmenes para dimensionar el sistema de tratamiento

A fin de contar siempre con aguas grises tratadas, para riego de jardines, vale decir no tener la necesidad de recurrir a agua potable para suplir déficit. Es necesario determinar la cantidad de agua utilizada en el EH de las duchas y lavamanos. Para determinar la cantidad de agua se consideró una dotación de cadetes y de personal de planta al 100% durante el año escolar.

Para realizar el cálculo se utilizó la dotación correspondiente al año 2016, la cual considera 371 cadetes y 301 personal planta. Esta población corresponde solo al régimen de lunes a viernes. Para el caso de los fines de semana, se determinó un promedio de 8 cadetes y para el personal de planta se consideraron los que se encuentran de guardia que son aproximadamente 10.

Para medir la cantidad de agua potable utilizada en el EH se realizó una propuesta de utilizar remarcadores en las entradas de cada baño, y así obtener la cantidad de agua de manera más exacta. Esta propuesta se rechazó porque las instalaciones de la ENAP cuentan con tuberías que tienen un diámetro de 2 1 / 2 ", y para poder instalar remarcadores con ese diámetro era necesario contar con un valor cercano a los \$600.000.- por remarcado. Se planteó la propuesta al capitán de la Escuela y este rechazó la propuesta de utilizar remarcadores para medir la demanda de agua potable.

Por lo cual se propuso realizar la medición del consumo de agua a través de un muestreo poblacional de las duchas y lavamanos que nos permitiera estimar los caudales, este muestreo se realizó con un intervalo de confianza del 95%, para duchas, lavamanos y duchas hilera. Se planteó el escenario más favorable para la captación de las aguas grises. En el **Anexo 1** se explican los cálculos

A continuación se presenta un cuadro de la demanda de agua potable:

Tabla 6.2: Demanda de agua potable

| | Lunes a Viernes | Sábados y Domingos | Unidad |
|-------------------------------------|-----------------|--------------------|---------------------|
| Cadetes | 20,78925655 | 0,685178087 | m ³ /día |
| | 415,785131 | 6,624000214 | m ³ /mes |
| Personal Armada | 20,333 | 0,7520000 | m ³ /día |
| | 406,667 | 4,6289909 | m ³ /mes |
| Total Edificio Habitabilidad | 41,12259631 | 1,164228444 | m ³ /día |
| | 822,4519261 | 11,25299106 | m ³ /mes |

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados obtenidos la cantidad de agua a recuperar será de 41,12 m³/día de lunes a viernes, dado que durante estos días ocurre la mayor demanda de agua potable y durante el fin de semana la demanda será de 1,16 m³/día.

En la siguiente tabla se presenta la cantidad de agua utilizada por los cadetes de acuerdo a diferentes horarios de uso.

Tabla 6.3: Cantidad de agua utilizada por cadetes en distintos horarios

| <i>Intervalo Min</i> | <i>Cantidad</i> | <i>Unidad</i> |
|----------------------|-----------------|----------------|
| 6:40 a 7:15 | 6,828457231 | m ³ |
| 7:15 a 7:20 | 2,377447362 | m ³ |
| 12:30 a 14:00 | 2,377447362 | m ³ |
| 18:00 a 18:30 | 3,414228616 | m ³ |
| 18:30 a 18:40 | 1,188723681 | m ³ |
| 21:00 a 21:30 | 3,414228616 | m ³ |
| 21:30 a 21:40 | 1,188723681 | m ³ |

Fuente: Elaboración Propia

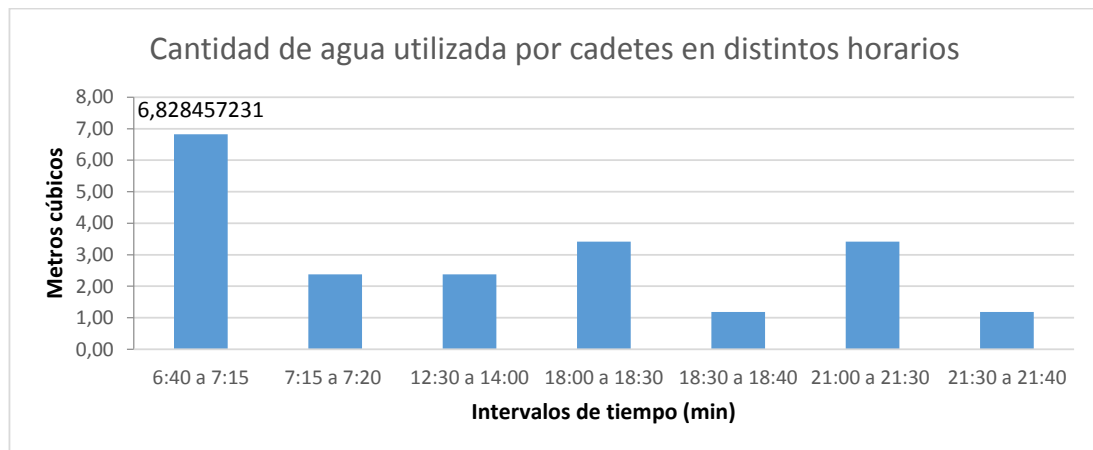


Gráfico 6.1: Agua utilizada por cadetes en diferentes horarios

Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico podemos observar la mayor cantidad de agua potable consumida por cadetes ocurren entre las 06:40 a 07:15 horas, la cantidad utilizada es de 6,82 m³.

En la siguiente tabla se presenta la cantidad de agua utilizada por el personal de la ENAP de acuerdo a diferentes horarios de uso.

Tabla 6.4: Cantidad de agua utilizada por personal de la escuela en distintos horarios

| <i>Intervalo Min</i> | <i>Cantidad</i> | <i>Unidad</i> |
|----------------------|-----------------|----------------|
| 7:00: a 7:30 | 7,273361297 | m ³ |
| 7:31 a 7:35 | 1,928872388 | m ³ |
| 12:30 a 14:00 | 1,928872388 | m ³ |
| 17:00 a 17:30 | 7,273361297 | m ³ |
| 17:30 a 17:40 | 1,928872388 | m ³ |

Fuente: Elaboración Propia

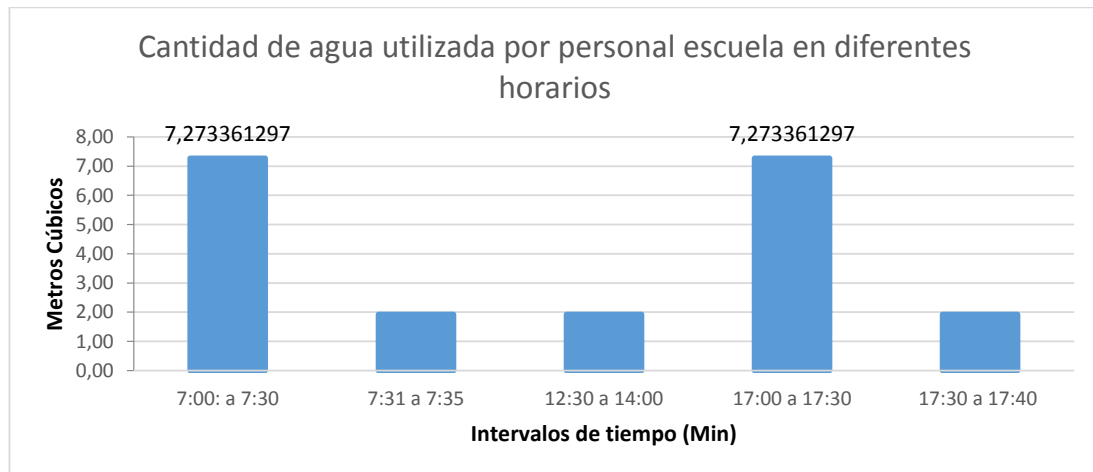


Gráfico 6.2: Agua utilizada por Personal Escuela Naval en diferentes horarios

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo al gráfico podemos observar la mayor cantidad de agua potable consumida ocurre entre las 07:00 a 07:20 horas y las 17:00 a 17:30 horas, siendo la cantidad utilizada de 7,27 m³.

A continuación se presenta el consumo total del edificio de "Habitabilidad" de la Escuela Naval.

Tabla 6.5: Consumo total del edificio de "Habitabilidad" de la Escuela Naval

| <i>Intervalo Min</i> | Cantidad | Unidad |
|----------------------|-----------------|----------------|
| <i>6:40 a 6:59</i> | 3,901975561 | m ³ |
| <i>7:00 a 7:30</i> | 12,57729033 | m ³ |
| <i>7:31: 7:35</i> | 1,928872388 | m ³ |
| <i>12:30 a 14:00</i> | 4,30631975 | m ³ |
| <i>17:00 a 17:30</i> | 7,273361297 | m ³ |
| <i>17:30 a 17:40</i> | 1,928872388 | m ³ |
| <i>18:00 a 18:30</i> | 3,414228616 | m ³ |
| <i>18:30 a 18:40</i> | 1,188723681 | m ³ |
| <i>21:00 a 21:30</i> | 3,414228616 | m ³ |
| <i>21:30 a 21:40</i> | 1,188723681 | m ³ |
| <i>Total</i> | 41,12259631 | m ³ |

Fuente: Elaboración Propia



Gráfico 6.3: Cantidad de agua utilizada en diferentes horarios

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo al gráfico anterior se observa que el mayor consumo ocurre en media hora entre las 07:00 a 07:30 horas. Pero este intervalo de tiempo se debe extender hasta completar una hora cronológica, ya que la velocidad de tratamiento de la luz UV esta medido

en m^3/hora , el cual será nuestra determinante para determinar la cantidad de estanques de recepción.

Entonces nuestro gráfico se presenta de la siguiente forma:

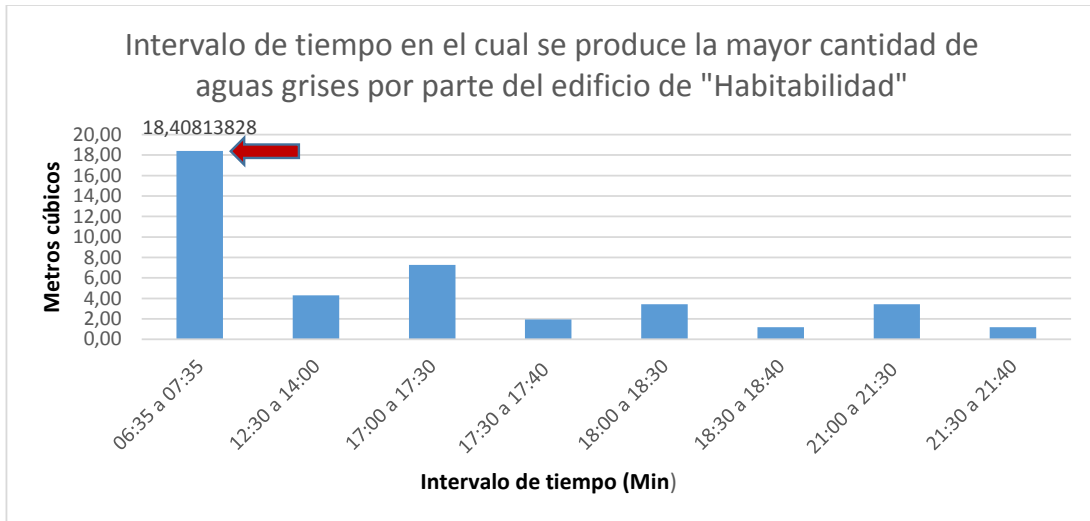


Gráfico 6.4: Mayor producción de aguas grises según intervalos de tiempo

Fuente: Elaboración Propia

La cantidad de aguas grises que se producen entre las 06:35 a 07:35 de la mañana son $18,4 \text{ m}^3$. Este valor representa un 45% del total de aguas grises que se producen en un día en el edificio de "Habitabilidad".

6.2. Cálculo y determinación de las áreas verdes a regar

La superficie de la ENAP es de aproximadamente 14 Hectáreas de las cuales se encuentran construidos 80 mil metros cuadrados, por ende las áreas verdes son aproximadamente 60 mil metros cuadrados. El interés de nuestro trabajo se centró en regar el sector de la cancha de fútbol que mide 9.000 m² y el sector del patio del buque que mide 4.790 m².

La cancha de fútbol contiene 35 regadores, cada regador tiene una entrada de 1" y puede alcanzar una distancia de riego de 19 metros. Los regadores están distribuidos por estaciones o líneas, el riego se realiza en cada estación por separado, ya que la presión proveniente de la red de agua potable es alrededor de 50 psi, la cual no permite tener funcionando al mismo tiempo todas las estaciones, se deja 15 minutos en funcionamiento cada estación, el riego se realiza de forma automática y durante la noche a las 21:00, las 03:00 horas y a las 15:00 horas.

El patio del buque contiene 55 regadores, cada regador tiene una entrada de 3/4" y puede alcanzar una distancia de riego de 16 metros. Los regadores están distribuidos de forma similar a la cancha de fútbol, pero en este sector se pueden utilizar 2 estaciones en simultáneo, ya que la presión de entrada es alrededor de 60 psi. El funcionamiento de cada estación es durante 15 minutos, el riego se realiza de forma automática y durante la noche en los siguientes horarios: a las 22:00 horas y a las 06:00 horas. La mayoría de las veces se riega de forma manual, entre los horarios 15:00 horas a 16:00 horas.

En la siguiente imagen se presentan las zonas a consideración para regar.



Ilustración 6.1: Zonas de estudio para el uso de las aguas tratadas de la Escuela Naval

Fuente: Google Maps. Elaboración Propia

En la siguiente tabla se presenta los consumos de cada sector y su intervalo de tiempo.

Tabla 6.6: Estimación del consumo de agua potable para cada sector

| Intervalos de tiempo | Cancha de futbol | Patio del Buque | Total | Unidad |
|-----------------------------|-------------------------|------------------------|------------------|--------------------------|
| 21:00 a 21:15 | 0,99375 | | 0,99375 | m ³ |
| 21:15 a 21:30 | 0,99375 | | 0,99375 | m ³ |
| 21:30 a 21:45 | 0,99375 | | 0,99375 | m ³ |
| 21:45 a 22:00 | 0,99375 | | 0,99375 | m ³ |
| 22:00 a 22:15 | 0,99375 | 1,061775 | 2,055525 | m ³ |
| 22:15 a 22:30 | 0,99375 | 1,061775 | 2,055525 | m ³ |
| 22:30 a 22:45 | 0,99375 | 1,061775 | 2,055525 | m ³ |
| 22:45 a 23:00 | | 1,061775 | 1,061775 | m ³ |
| 23:00 a 23:15 | | 1,061775 | 1,061775 | m ³ |
| 03:00 a 03:15 | 0,99375 | | 0,99375 | m ³ |
| 03:15 a 03:30 | 0,99375 | | 0,99375 | m ³ |
| 03:30 a 03:45 | 0,99375 | | 0,99375 | m ³ |
| 03:45 a 04:00 | 0,99375 | | 0,99375 | m ³ |
| 04:00 a 04:15 | 0,99375 | | 0,99375 | m ³ |
| 04:30 a 04:45 | 0,99375 | | 0,99375 | m ³ |
| 04:45 a 05:00 | 0,99375 | | 0,99375 | m ³ |
| 06:00 a 06:15 | | 1,061775 | 1,061775 | m ³ |
| 06:15 a 06:30 | | 1,061775 | 1,061775 | m ³ |
| 06:30 a 06:45 | | 1,061775 | 1,061775 | m ³ |
| 06:45 a 07:00 | | 1,061775 | 1,061775 | m ³ |
| 07:00 a 07:15 | | 1,061775 | 1,061775 | m ³ |
| 15:00 a 15:15 | 0,99375 | 1,061775 | 2,055525 | m ³ |
| 15:15 a 15:30 | 0,99375 | 1,061775 | 2,055525 | m ³ |
| 15:30 a 15:45 | 0,99375 | 1,061775 | 2,055525 | m ³ |
| 15:45 a 16:00 | 0,99375 | 1,061775 | 2,055525 | m ³ |
| 16:00 a 16:15 | 0,99375 | 1,061775 | 2,055525 | m ³ |
| 16:15 a 16:30 | 0,99375 | | 0,99375 | m ³ |
| 16:30 a 16:45 | 0,99375 | | 0,99375 | m ³ |
| Total | 20,86875 | 15,926625 | 36,795375 | m³/día |

Fuente: Elaboración Propia

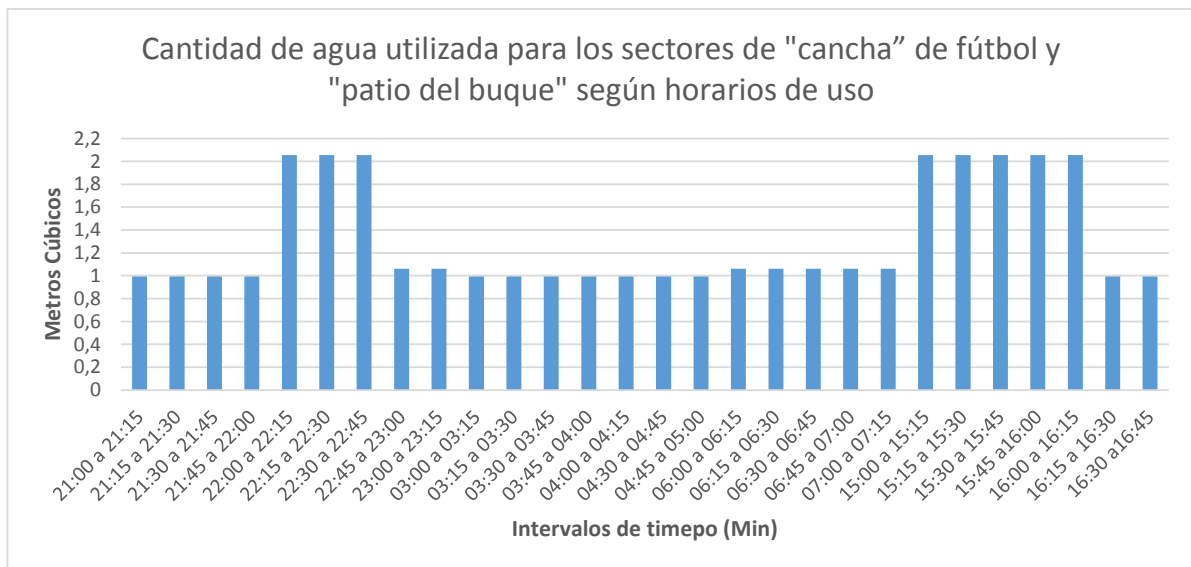


Gráfico 6.5: Cantidad de agua utilizada para los sectores de "cancha" de fútbol y "patio del buque" según horarios de uso

Fuente: Elaboración Propia

La cantidad de agua destinada para regar la cancha de futbol, considerando un caudal de 3,5 GPM por regador y regando tres veces diarias, es de 20,86875 m³/día. Para el caso del Patio del Buque el agua destinada para regar, considerando un caudal de 1,7 GPM por regador y regando tres veces diarias, es de 15,9266 m³/día.

De acuerdo a estos datos la cantidad de agua que debemos disponer diariamente es de 36,795375 m³/día la demanda de agua potable. Además los sistemas de regadío por aspersión tienen una eficiencia del 85%¹⁰, por lo cual la necesidad real de agua será de 43,29 m³. Por lo cual podremos no alcanzaremos a satisfacer la necesidad real de regar ambos sectores y se deberá utilizar agua potable.

¹⁰ Dato proporcionado por la Escuela Naval, Eficiencia del regadío por aspersión.

A continuación presentamos una simulación de la cantidad de agua recuperada v/s la cantidad de agua utilizada para riego.

Tabla 6.7: Cantidad de agua recuperada v/s cantidad de agua utilizada para riego

| Días | Estimación de la Recuperación | Riego | Excedente o Faltante | Unidad |
|------------------|--------------------------------------|--------------|-----------------------------|---------------------|
| Lunes | 41,12 | 43,29 | -2,17 | m ³ /día |
| Martes | 41,12 | 43,29 | -2,17 | m ³ /día |
| Miércoles | 41,12 | 43,29 | -2,17 | m ³ /día |
| Jueves | 41,12 | 43,29 | -2,17 | m ³ /día |
| Viernes | 41,12 | 43,29 | -2,17 | m ³ /día |
| Sábado | 1,164 | 43,29 | -42,126 | m ³ /día |
| Domingo | 1,164 | 43,29 | -42,126 | m ³ /día |
| Lunes | 41,12 | 43,29 | -2,17 | m ³ /día |
| Martes | 41,12 | 43,29 | -2,17 | m ³ /día |
| Miércoles | 41,12 | 43,29 | -2,17 | m ³ /día |
| Jueves | 41,12 | 43,29 | -2,17 | m ³ /día |
| Viernes | 41,12 | 43,29 | -2,17 | m ³ /día |
| Sábado | 1,164 | 43,29 | -42,126 | m ³ /día |
| Domingo | 1,164 | 43,29 | -42,126 | m ³ /día |

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a estos datos no debemos ocupar estanques extras de almacenamiento, solo utilizaremos para almacenar el agua tratada durante el día, para que esta sea utilizada durante la noche. De acuerdo a la eficiencia del regadío por aspersión corresponde al 85% aproximadamente, por lo cual la cantidad de agua utilizada para riego debiese ser 43,29 m³. Por lo cual el agua se utilizara toda para regar las áreas verdes seleccionadas en caso de necesitar más agua para regar, se utilizara el agua potable.

Algunos días se deberá regar de manera manual, de acuerdo a ciertos imprevistos: como posibles cortes de la red de agua potable, cortes de luz y a ciertas circunstancias climatológicas.

6.3. **Calculo de la Necesidad de Agua por m² de Áreas Verdes**

Necesidad de Riego por cultivo:

$$Nr = \frac{ETc}{Ef} * 100$$

Donde:

Nr: Necesidad de riego [mm/día]

Ef: Eficiencia de sistema de riego (%)

ETc: Evapotranspiración del cultivo para periodo de máxima demanda [mm/día]

$$ETc = ETp * Kc$$

Donde:

ETp: Evapotranspiración potencial para periodo de máxima demanda [mm/día]

Kc: Coeficiente de cultivo.

Para un clima de región templada húmedos con una temperatura promedio del día de unos 20° C y con una humedad relativa menor al 50% se tiene un ETp de 4,5 [mm/día]. El coeficiente Kc para el césped es 1, se tiene entonces que la necesidad máxima de riego en un clima similar al de Valparaíso es de:

$$\begin{aligned} Etc &= ETp * Kc = 4,5 [mm/día] \\ Ef &= 85\% \text{ (Dato proporcionado por)} \\ Nr &= 5,29411 [mm/día] \end{aligned}$$

Se considera 10 [mm/día], lo que equivale a 10 [l/m²/día]

Aguas Grises = 41.122 [L/día] o 41,122[m³/día]

Superficie Aproximada de Riego Posible = AG/Nr = 7767,5 [m²]

De acuerdo a este resultado podremos regar sola el sector cancha de futbol, por lo cual no necesitaremos disponer de más estanques, solo necesitaremos para poder almacenar la cantidad de aguas hasta la noche, que es cuando se riega el sector cancha de futbol.

6.4. Cálculo de la Huella Hídrica de la Escuela Naval “Arturo Prat”

A continuación se presenta el trabajo desarrollado a partir de la metodología, para lo cual, en primer lugar se definió el producto o procesos que se estudiarían, el alcance y los límites de las HH al caso de estudio, tanto sus aspectos geográficos, como temporales.

6.4.1. Definición del caso de estudio, alcance y límites de la Huella Hídrica

Para el cálculo de la HH se consideró el EH de la ENAP siendo uno de los más importantes en respecto al consumo de agua potable y el regadío de las áreas verdes. Además se cuenta con la información del medidor general de la ENAP y el medidor utilizado para regar las áreas verdes.

Como la ENAP es una institución educacional que cuenta con un régimen de semi-internado para sus estudiantes, sus procesos en los cuales se utiliza agua son: baños (lavamanos, duchas y WC), lavandería, cocina y riego. Para nuestro caso solo se tomara en cuenta el agua proveniente de las duchas y lavamanos.

El objetivo de realizar el cálculo de la HH es determinar la cuantificación del proceso de utilizar las duchas y lavamanos del EH y el determinar la cuantificación del proceso de regadío de las áreas verdes. Con el fin de determinar la cantidad de agua suministrada para realizar ambos proceso.

Las HH que mediremos son la azul y gris, para el caso del EH, la huella hídrica verde será utilizada para el caso de las áreas verdes de la Escuela Naval. En el caso de la HH indirecta se descarta ya que el agua es utilizada en el proceso mismo.

6.4.2. Definición de los procesos para el caso del cálculo de la Huella Hídrica

Considerando que la ENAP cuenta con distintos procesos en los cuales se utiliza agua, se debió definir si se calcularía la HH para toda la ENAP, todos sus procesos o de un proceso en específico. Para el caso de nuestro trabajo el cual consiste en la reutilización de aguas grises provenientes de las duchas y lavamanos, definimos contabilizar la HH de estos dos procesos, ya que son los procesos que producen mayor cantidad de agua gris, además de incluir la HH de las áreas verdes ya que será el proceso en el cual se utilizaran las aguas reutilizadas.

6.4.3. Desarrollo de un esquema simplificado del proceso de las duchas y lavamanos y del regadío de las áreas verdes

Según lo estudiado en relación con el proceso de duchas y lavamanos y el regadío de áreas verdes, además teniendo como complemento las visitas a terreno, se desarrollarán los siguientes esquemas simplificados de manera simple los procesos de duchas y lavamanos y del regadío de las áreas verdes.

A continuación presentaremos el proceso de las duchas que utilizan el personal de la armada y los cadetes de último año)

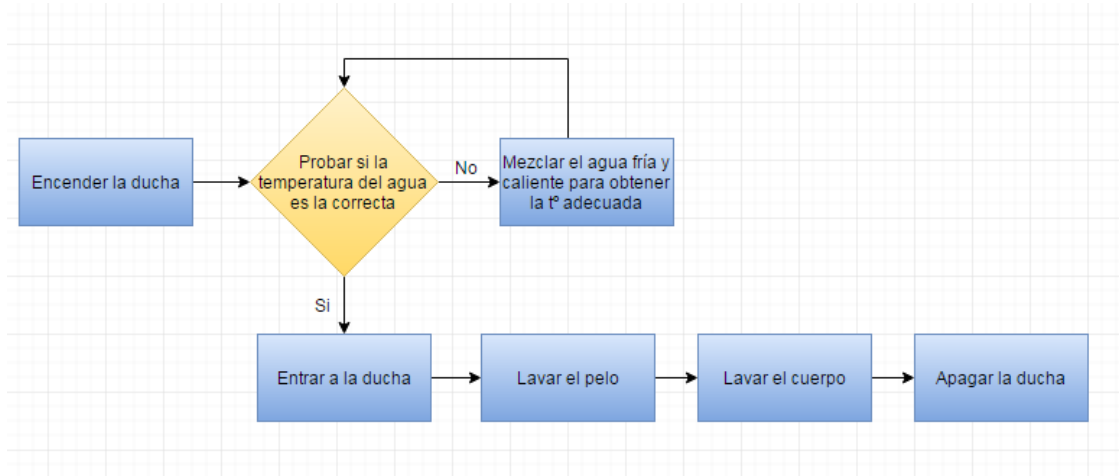


Figura 6.2: Esquema simplificado de duchas (Personal armada y Baños “Olimpos”)

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en el proceso de ducharse es igual al proceso que tendría una persona en su hogar.

Ahora continuaremos con el proceso de las duchas para los cadetes, excluyendo los de último año.

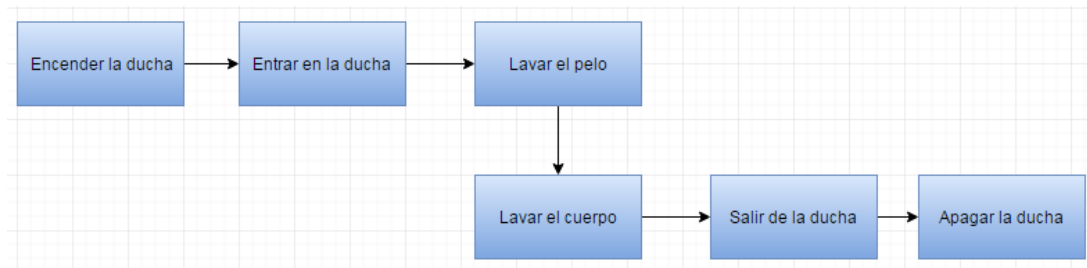


Figura 6.3: Esquema simplificado del proceso de duchas de los cadetes

Fuente: Elaboración Propia

Si bien este proceso difiere del anterior, por la sencilla razón de que las duchas son distintas, estas duchas es en forma de hilera, las cuales un funcionario de la armada enciende y después que se han duchado todos los cadetes apaga las duchas.

El otro proceso que estudiaremos será el proceso del lavamanos, a continuación se presenta el siguiente esquema simplificado.

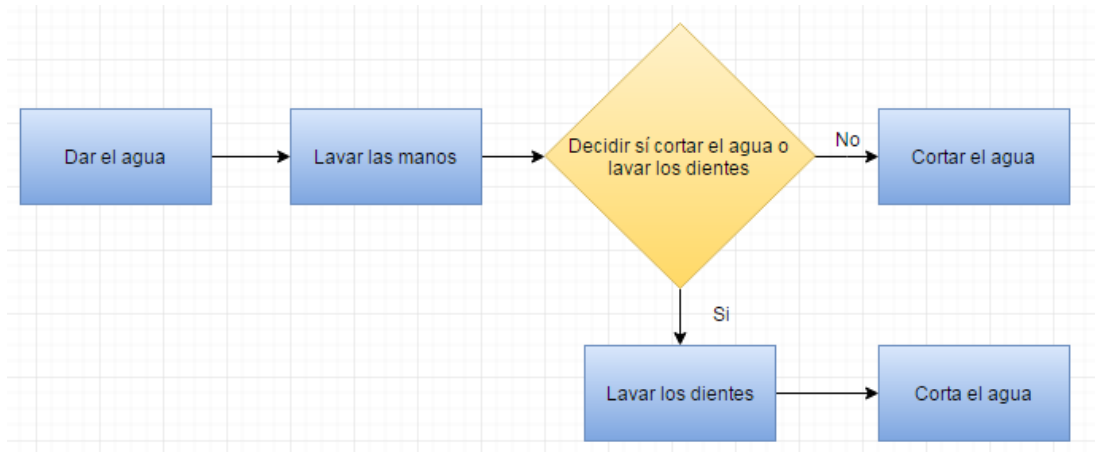


Figura 6.4: Esquema simplificado del proceso de lavamanos

Fuente: Elaboración Propia

Este proceso es el utilizado comúnmente en la ENAP, si bien hay veces que solo se utilizan los lavamanos para lavarse las manos, en otras se utiliza además para lavarse los dientes.

6.4.4. Desarrollo de un diagrama de manejo de agua en la Escuela Naval “Arturo Prat” Balance Hídrico para HH

Luego de obtener una visualización general de los procesos al interior de la ENAP, se procedió a identificar los flujos de agua utilizada para estos y su procedencia. En base a la información recabada se identificaron las entradas y las descargas de agua residual.

Para el caso del EH el agua utilizada es proveniente de la red de agua potable, el agua se envía a la parte superior del edificio “Administrativo” e ingresa a un estanque, el cual distribuye el agua a toda la ENAP por la altura que produce la presión necesaria. El agua potable utilizada en los procesos de baños y duchas, es descargada al alcantarillado.

En la siguiente imagen se presenta el diagrama del agua potable utilizada en el EH.

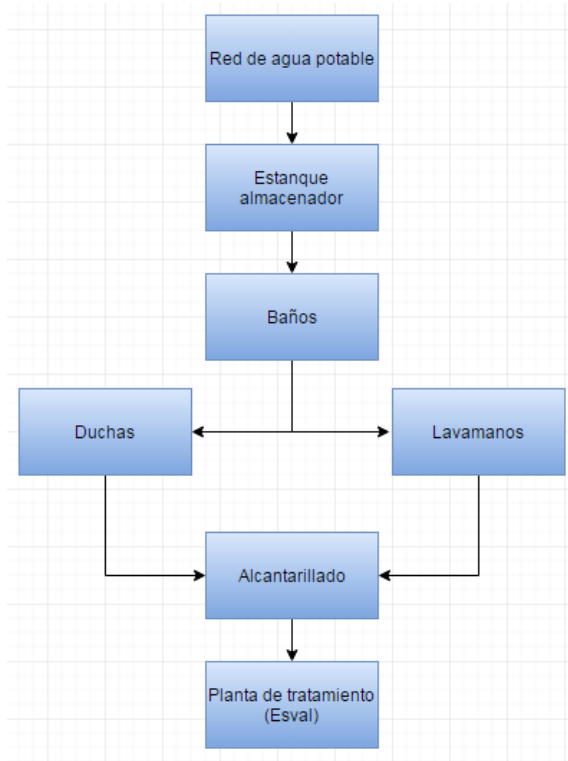


Figura 6.5: Diagrama del flujo del agua potable del edificio “Habitabilidad”

Fuente: Elaboración Propia

Ahora bien en el caso del regadío de las áreas verdes, también se utiliza agua potable para regar las áreas verdes, el agua proviene directamente desde la red de agua potable, el sistema de regadío es compartido con el del ramal de incendios, en algunos lugares este no es compartido.

En la siguiente imagen se presenta el diagrama de agua potable utilizada en el riego de áreas verdes.

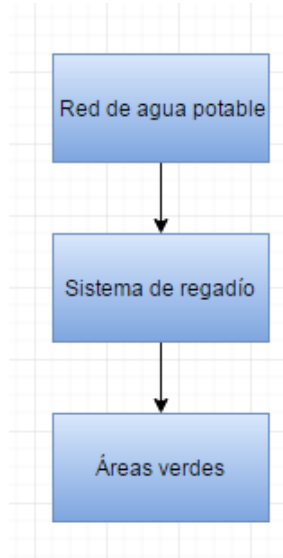


Figura 6.6: Diagrama del flujo del agua potable para el riego de áreas verdes

Fuente: Elaboración Propia

6.4.5. Definición de los alcances de la Huella Hídrica del proceso seleccionado

Se definieron los alcances del estudio, es decir, el nivel de precisión que se buscaría en la contabilidad debiendo aclarar hasta qué punto se pretende extender el cálculo. Se decidió, sobre la base de lo propuesto por el manual de la HH 2009, limitar la contabilidad a los consumos de agua cuya contribución a la HH fuera superior al 5% (Hoekstra et al., 2009a).

Los límites del estudio corresponden a los límites temporales y geográficos, en este caso para los límites temporales se tomó la contabilidad de la HH de un año normal (funcionamiento en parámetros normales de la ENAP), en este caso el año 2015. En cuanto a los límites geográficos corresponderán a los límites del recinto de la ENAP

6.4.6. Datos requeridos para el cálculo de la Huella Hídrica

Para cuantificar la HH es necesario contar con los valores de evaporación [E], flujo de agua que es retornado al sistema (alcantarillado, planta de tratamiento compañía de agua) [Q], cantidad de cadetes y personal de la armada en los procesos [P] y datos de la calidad de aguas descargadas [C]. En la siguiente tabla se detallan los valores requeridos.

Tabla 6.8: Datos para la Huella Hídrica

| Caudales [Q] | | |
|-----------------------------|--|-----------------------|
| Q.1 | Duchas | [m ³ /día] |
| Q.2 | Lavamanos | [m ³ /día] |
| Q.3 | Regadío | [m ³ /día] |
| Evaporación [E] | | |
| E.1 | Evaporación de los baños del edificio de "Habitabilidad" | [Kgv/h] |
| E.2 | Evapotranspiración de las áreas verdes | [Kgv/h] |
| Cantidades [P] | | |
| P.1 | Cadetes | [personas] |
| P.2 | Personal Armada | [personas] |
| P.3 | Superficie áreas verdes | [m ²] |
| Calidad del agua [C] | | |
| C.1 | Alcantarillado | [mg/L] |

Fuente: Elaboración Propia

6.4.7. Huella Hídrica Azul Edificio de “Habitabilidad”

Para realizar el cálculo de la HH Azul es necesario conocer los siguientes componentes:

- Afluente: es el volumen facturado de agua. Es decir el consumo entregado por el medidor de agua.
- Efluente: es el volumen de agua utilizado para los distintos usos.
- Volumen de agua incorporada: Es el agua incorporada al producto o proceso.
- Volumen de agua evaporada: Es el agua evaporada por la generación de un cuerpo de agua.
- Pérdida de Flujo de retorno: Volumen de agua que no regresa a la misma cuenca.

La HH está definida por la siguiente ecuación:

$$HH\ Azul = Incorporada + Evaporada + Perdida\ de\ Flujo\ de\ retorno$$

La pérdida de flujo de retorno se contempla en el volumen de agua que se incorpora y que se evapora, ahora bien como se desconocen los volúmenes de agua incorporada y evaporada, debemos utilizar la siguiente ecuación para determinar la HH Azul:

$$: HH\ Azul = Afluente - Efluente$$

Tabla 6.9: Huella Hídrica Azul Duchas - Lavamanos

| HH Azul Duchas - Lavamanos | | |
|--------------------------------|--|--------------|
| Descripción | Unidad | Cantidad |
| Personal Escuela y Estudiantes | Personas | 627 |
| Afluente | [m ³ agua/mes] | 866,1 |
| Efluente | [m ³ agua/mes] | 833,7 |
| HH Azul | [m³ agua / personas] | 0,337 |

Fuente: Elaboración Propia

Para este cálculo se utilizó el promedio mensual de facturación del medidor principal y la estimación realizada para el cálculo de los volúmenes de agua utilizados por cadetes y personal de la escuela.

6.4.8. Huella Hídrica Gris Edificio “Habitabilidad”

Para realizar el cálculo de la HH Gris es necesario conocer los siguientes componentes:

- Vol_{ef}: Volumen del efluente o agua descargada.
- C_{ef}: concentración del contaminante en estudio que se descarga al sistema.
- C_{max}: Concentración máxima del parámetro utilizado para la cuantificación en el cuerpo receptor según la normativa ambiental.
- C_{nat}: Concentración natural libre de impactos antropogénicos del parámetro utilizado para la cuantificación.

$$HH\ Gris = \frac{V_{ef} (C_{ef} - C_{nat})}{C_{max} - C_{nat}}$$

Concentración de los contaminantes en el caso de estudio:

Tabla 6.10: Huella Hídrica Gris para Solidos Suspendidos Totales

| HH Gris Solidos Suspendidos | | |
|---|----------------------------|----------|
| | Unidad | Cantidad |
| Descarga del Efluente | [m ³ agua/ mes] | 833,7 |
| Concentración de S.S. descargada | [mg/l] | 213,8 |
| Norma DS609 | [mg/l] | 300 |
| Razón de descarda y norma DS609 | - | 0,713 |
| Caudal aportante HH Gris S.S. | [m ³ agua/ mes] | 594,15 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.11: Huella Hídrica Gris para DBO5

| HH Gris DBO5 | | |
|---|----------------------------|----------|
| | Unidad | Cantidad |
| Descarga del Efluente | [m ³ agua/ mes] | 833,7 |
| Concentración de DBO5 descargada | [mg/l] | 205,5 |
| Norma DS609 | [mg/l] | 300 |
| Razón de descarda y norma DS609 | - | 0,678 |
| Caudal aportante HH Gris DBO5 | [m ³ agua/ mes] | 565,52 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.12: Huella Hídrica Gris para Fosforo

| HH Gris Fosforo | | |
|--|----------------------------|----------|
| | Unidad | Cantidad |
| Descarga del Efluente | [m ³ agua/ mes] | 833,7 |
| Concentración de P descargada | [mg/l] | 2,2 |
| Norma DS609 | [mg/l] | 15 |
| Razón de descarda y norma DS609 | - | 0,147 |
| Caudal aportante HH Gris P | [m ³ agua/ mes] | 122,276 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.13: Huella Hídrica Gris para Nitrógeno Total

| HH Gris Nitrógeno total | | |
|--|----------------------------|----------|
| | Unidad | Cantidad |
| Descarga del Efluente | [m ³ agua/ mes] | 833,7 |
| Concentración de Nitrógeno total descargada | [mg/l] | 7,3 |
| Norma DS609 | [mg/l] | 80 |
| Razón de descarda y norma DS609 | - | 0,091 |
| Caudal aportante HH Gris Nitrógeno Total | [m ³ agua/ mes] | 76,07 |

Fuente: Elaboración Propia

Siendo el mayor aporte el de los Solidos Suspending Totales, con un aporte de 594,15 [m³ agua/ mes], es el cual se ha seleccionado para calcular la HH Gris.

Tabla 6.14: Huella Hídrica Gris Duchas - Lavamanos

| HH Gris Duchas - Lavamanos | | |
|---|----------------------------------|----------|
| | Unidad | Cantidad |
| Personal Escuela y Estudiantes | Personas | 627 |
| Descarga del Efluente | [m ³ agua/ mes] | 833,7 |
| Concentración de S.S. descargada | [mg/l] | 213,8 |
| Norma DS609 | [mg/l] | 300 |
| Razón de descarta y norma DS609 | - | 0,713 |
| Caudal aportante HH Gris S.S. | [m ³ agua/ mes] | 594,15 |
| HH Gris | [m ³ agua / personas] | 0,947 |

Fuente: Elaboración Propia

Para este cálculo se utilizó la Norma DS609, la concentración de descarga de aguas grises y la descarta de efluente.

Huella Hídrica Total

Para calcular la HH total, se presenta en la siguiente ecuación:

$$HH \text{ Total} = HH \text{ Azul} + HH \text{ Gris}$$

Hemos excluido la HH verde porque no afecta el proceso de duchas y lavamanos, la cual será calculada de forma aparte en el siguiente capítulo.

Tabla 6.15: Huella Hídrica Total

| HH Total | | |
|-----------------|----------------------------------|----------|
| | Unidad | Cantidad |
| HH Azul | [m ³ agua / personas] | 0,337 |
| HH Gris | [m ³ agua / personas] | 0,947 |
| HH Total | [m ³ agua / personas] | 1,284 |
| HH Total | m ³ agua/mes | 805,068 |

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a este cálculo la Huella Hídrica de la Escuela Naval es 805,068 m³ agua/mes, lo que quiere decir que diariamente la HH tiene un valor de 41,12 m³/día.

6.4.9. Huella Hídrica Verde

Para realizar el cálculo de la HH Verde se utilizaron dos software; estos son facilitados por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura) y sus nombres son el CROOWPAT y el CLIMWAT.

El programa CROWPAT es utilizado para la cuantificación de la HH Verde, es un programa informático desarrollado por la FAO para determinar el volumen de agua evapotranspirada por los cultivos en distintos lugares del mundo.

El programa CLIMWAT es utilizado para obtener datos del clima, como precipitaciones temperatura mínima, máxima, humedad, etc. Estos datos serán necesarios para completar los datos que nos solicitara el CROWPAT.

Se extrajeron los datos de ambos software para realizar los cálculos de la HH.

Los componentes que necesitamos conocer son los siguientes para poder calcular la huella verde

- Superficie de cobertura de las áreas verdes
- Tipo de área verde (pasto, arbusto, arboles, etc.)
- Precipitación efectiva
- Agua evapotranspirada: es el agua que se evapora de la superficie (áreas verdes).
- Agua incorporada: es el agua que se incorpora para regar las áreas verdes.

A continuación se presenta la ecuación a utilizar:

$$HH\ Verde = Agua\ evapotranspirada + Agua\ incorporada$$

Para poder calcular la HH Verde independiente de las superficies tomadas en cuenta, se utilizan las siguientes ecuaciones.

$$HH\ Verde = CWU_{Verde} * Superficies\ de\ áreas\ verdes$$

$$HH\ Azul = CWU_{Azul} * Superficies\ de\ áreas\ verdes$$

Donde:

- CWU_{Verde} : Es el uso de agua de lluvia de la cobertura cuantificada.
- CWU_{Azul} : Es el uso de agua extra (riego) de la cobertura cuantificada.
- La superficie de áreas verdes (ha), de la cobertura cuantificada.

$$CWU_{Verde} = 10 * \sum_{d=1}^{lgp} ET_{Verde}$$

$$CWU_{Azul} = 10 * \sum_{d=1}^{lgp} ET_{Azul}$$

Donde:

- CWU_{Verde} : Es el componente verde en el uso de agua de las plantas, es decir, el aprovechamiento de agua de la lluvia por parte de las plantas.
- CWU_{Azul} : Es el componente azul en el uso de agua de plantas, es decir, el aprovechamiento de agua azul, en muchos casos potable, por parte de las plantas.
- ET_{Verde} : Es la evapotranspiración del agua verde, agua de la lluvia.
- ET_{Azul} : Es la evapotranspiración del agua azul y está definida por la evapotranspiración menos la precipitación efectiva.

A continuación se presenta el cálculo de la HH Verde:

Tabla 6.16: Huella Hídrica Verde de las áreas verdes Escuela Naval

| HH Verde áreas verdes | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------|
| | Unidad | Cantidad |
| Superficies áreas verdes | Ha | 6 |
| ET_{Verde} | mm/periodo de desarrollo | 228,2 |
| ET_{Azul} | mm/periodo de desarrollo | 658,2 |
| CWU_{Verde} | m ³ /ha | 2282 |
| CWU_{Azul} | m ³ /ha | 6582 |
| HH Verde | m³ | 13692 |
| HH Azul | m³ | 49492 |
| HH Total | m³ | 53184 |

Fuente: Elaboración Propia

Como podemos observar en la tabla 27 hemos incluido el cálculo de la HH azul, está nos arroja que la cantidad de agua utilizada para regar las áreas verdes de la ENAP que representa 49.492 m³. La HH verde representa la cantidad de agua que se evapora desde las áreas verdes es 13.692 m³. Finalmente la HH total de las áreas verdes es 53.184 m³.

La cantidad real de agua utilizada, sin utilizar el resultado proporcionado por la HH es de 52.685 m³ durante un año. Si comparamos el resultado obtenido por la HH y de acuerdo a los datos entregados por la ENAP y los pronósticos realizados los datos no difieren mucho. Por lo cual podremos determinar cuánto afectara la reducción de agua potable en la HH.

De acuerdo a la superficie que se regará con agua reciclada corresponde a 1,379 ha, la HH azul se podrá reducir en un 18% aproximadamente, lo cual lleva a una reducción en el consumo de agua potable utilizado en el proceso regadío; contribuyendo de esta forma con el medio ambiente.

En la siguiente tabla se indica la reducción de la Huella Hídrica en la Escuela Naval.

Tabla 6.17: Reducción producida al incorporar un sistema de reutilización de aguas grises

| | |
|---------------------------------------|------------|
| Reducción en la Huella Hídrica | 18% |
|---------------------------------------|------------|

Fuente: Elaboración Propia

7. Diseño del sistema de tratamiento de aguas grises

7.1. Planta de tratamiento de aguas grises

Antecedentes

Se implementara un sistema de reutilización de aguas grises para riego, con las siguientes características:

Tabla 7.1: Antecedentes del sistema de reutilización de aguas grises

| | |
|---|--|
| Tipo de instalación | Sistema de reutilización de aguas grises |
| Descripción | Reutilización de aguas grises provenientes del uso de duchas y lavamanos del edificio de Habitabilidad de la Escuela Naval "Arturo Prat" |
| Tipo de efluente | Aguas grises |
| Volumen de agua por tratar (m³/día) | 41,12 |

Fuente: Elaboración Propia

El sistema de reutilización de aguas grises se basa en la funcionalidad del equipo depurador Eco Step 6.0 de 6,5 m³/h como volumen máximo e instantáneo de tratamiento, respectivamente. Dicho equipo está diseñado para reducir la contaminación de las aguas grises (solidos suspendidos, materia orgánica, jabones, detergentes, etc.) y desinfectar las aguas de duchas y bañeras para reutilizarlas en descargas de inodoros, riego, lavado de vehículos, etc. Este equipo cuenta con un sistema automatizado de depuración, recirculación y limpieza de filtro, además de un sistema de desagüe y de aporte de agua desde el sistema de red cuando los estanques se encuentran con bajo volumen de carga, con el fin de mantener en funcionamiento el equipo evitando daños por desuso.

El equipo depurador Eco Step 6.0 funciona con dos tipologías de depósitos, de recepción y acumulación; en el depósito de recepción se recibe el agua gris generada, mientras que en el depósito de acumulación. Las aguas tratadas se acumulan para posteriormente, ser enviadas para regar las áreas verdes.

El requerimiento de aguas depuradas es de 41,12 m³, proveniente del uso de duchas y lavamanos del Edificio de Habitabilidad, por ello se contempla un periodo peak de generación, estimado entre las 06:35 y las 07:35 am, en el cual se generará cerca del 45% del total, es decir, 18,4 m³ de aguas grises aproximadamente.

Como se menciona, el período peak de generación es de 1 hora, por tanto el equipo debe ser capaz de tratar los 18,4 m³ en ese periodo, de no ser así la diferencia debe ser almacenada. Ante esto, y considerando que el equipo tiene una capacidad de tratamiento de 6,5 m³ durante la hora peak, lo que nos da una diferencia de 11,9 m³ respecto a los 18,4 m³ generados, por tanto ese diferencial debe ser almacenado. Para ello, en la siguiente propuesta se contempla el siguiente escenario de requerimiento de estanques de recepción/acumulación:

Tabla 7.2: Estanques receptores y almacenadores

| <i>Propuesta</i> | <i>Cantidad</i> | <i>Dimensión Total</i> |
|---|-----------------|------------------------|
| <i>Estanque receptor ROTHAGUA 3000 lts</i> | 5 | 12 m ³ |
| <i>Estanque almacenador ROTHAGUA 3000 lts</i> | 15 | 45 m ³ |

Fuente: Elaboración Propia

Se propone el uso de 5 ROTHAGUA® (RDBA 3000) de 3.000 litros, como receptores y 15 depósitos ROTHAGUA® (RDBA 3000) de 3.000 litros para almacenamiento de aguas tratadas, con el fin de mantener diariamente el requerimiento de al menos los 41,12 m³, que es el cantidad de producida por las duchas y lavamanos del edificio de habitabilidad, se dejara una holgura por si es necesario guardar agua en por algún imprevisto. La cantidad de agua que no sea ocupada para regar la “cancha de futbol” o el patio del buque” será enviada al cierre perimetral de la “cancha de futbol”, ya que comprar más estanques no sería una solución viable por su elevado costo.

En la siguiente figura, se presenta en forma referencial el sistema de reutilización de aguas grises y su circuito de ingreso/descarga.

Ilustración 7.1: Sistema de reutilización de aguas grises y su circuito de ingreso/descarga.



Fuente: Mankuk .S.A. 2016

De acuerdo con la figura anterior, el agua gris generada, ingresa por la parte superior del estanque de recepción, luego, desde su interior, la bomba de filtración la lleva hacia el equipo Eco Stop 6.0, donde es depurada a través del filtro de sílex y el filtro UV, para luego ser llevada al estanque de acumulación. Según el requerimiento, el agua depurada sale desde el estanque de acumulación hacia la bomba de impulsión del equipo, desde donde es distribuida a servicio, en nuestro caso a riego. Adicionalmente, ambos estanques tienen salida a desagüe y rebosadero en caso que las cantidades de aguas grises se vean alteradas.

Se hace presente que el equipo cuenta con un circuito de recirculación de las aguas para evitar procesos de descomposición y con ello deterioro de los materiales.

Adicionalmente, cuenta con un sistema de limpieza de filtro de circulación inversa, cuya agua va directamente al desagüe.

Para la instalación del equipo y del sistema en sí, se requiere de un set accesorios de conexión de los estanques y depuradora, consistentes generalmente, en acoples, unidades de conexión de depósitos, setas de aireación, entre otros.

7.2. Calidad del agua tratada

Parámetros de la calidad del agua tratada de acuerdo a los antecedentes entregados por Mankuk. S.A. del equipo Eco Step 6.0 es de 0,2 NTU de turbidez, y menos de 2 mg/L solidos suspendidos sin coliformes¹¹

A continuación se presentan los parámetros del agua tratada.

Tabla 7.3: Parámetros del agua tratada

| Parámetros | Valor | Unidades |
|-----------------------------|---------------------|----------|
| Conductividad a 25 °C | 1886 | µS/cm |
| Turbiedad | 0,2 | UNT |
| DBO5 Total | 5 | mg/l |
| DQO | 15 | mg/l |
| Solidos Suspendidos a 105°C | 2 | mg/l |
| Solidos Disueltos a 105°C | 243 | mg/l |
| Aluminio | 0,47 | mg/l |
| Calcio | 82,85 | mg/l |
| Magnesio | 24,99 | mg/l |
| Sodio | 131 | mg/l |
| Nitrógeno Total Kjeldahl | 2,76 | mg/l |
| Fosforo Total | <0,50 | mg/l |
| Potasio | 13,12 | mg/l |
| Coliformes Fecales | 1,7x10 ³ | - |

Fuente: Datos proporcionados por Mankuk S.A. Octubre 2015. Elaboración propia

Los parámetros entregados por Mankuk no superan los valores permitidos por la NCh 1333.Of78 "Requisitos para la calidad del Agua para riego" los cuales se encuentran en el **anexo 5**.

¹¹ ECOSTEP, Reutilización de Aguas Grises. Manual de transporte, instalación y mantenimiento. Datos entregados por Mankuk S.A.

7.3. Descripción del equipo

El equipo consta de 3 partes principales

- Depósito de recepción de aguas grises.
- Compacto, filtración y desinfección.
- Deposito acumulador de aguas tratadas.

Deposito recepción de aguas grises.

La selección del depósito para acumular aguas grises se ha determinado en el punto anterior.

Compacto filtración y desinfección

El equipo de filtración está compuesto por un filtro de arenas varias granulometrías (15-25 μm), de forma que quedan retenidos los cuerpos solidos suspendidos en el agua gris. La limpieza del filtro de arenas se realiza automáticamente por diferencia de presión a través de una válvula de 6 vías, la cual invierte el sentido de flujo limpiando a contracorriente el material filtrante. El ciclo de limpieza se realiza automáticamente cada 7 días o si alcanza la presión prefijada por obturación del filtro.

Después a su filtrado, el agua pasa a través de un filtro de UV para su desinfección. La luz UV incide sobre los microorganismos patógenos oxidándolos y destruyéndolos. El filtro de UV tiene un sistema de seguridad con aviso óptico y acústico que mide el grado de opacidad de la bombilla, asegurando en todo momento un grado de eficiencia de desinfección óptimo. Cuando se detecta alta opacidad o mal funcionamiento de la lámpara de luz UV, todo el equipo se deshabilita, de forma que se asegura un suministro de agua desinfectada, y entra agua potable de red para continuar con el suministro.

Deposito acumulador de aguas tratadas

La selección del depósito para acumular las aguas tratadas depende del tipo de instalación para el que se instale el equipo, es decir, el consumo o necesidad de agua dictamina el volumen de acumulación y tipo de depósito a instalar. Como la existencia de riego de jardines, zona geográfica, espacio en la instalación, etc. son detalles que determinan el volumen y el tipo de depósito.

7.4. Funcionamiento del equipo

La entrada al depósito de recepción de aguas grises está conectada al filtro de predebaste que filtra en primer lugar los cuerpos con más volumen (cabellos, celulosas, etc.) que puedan provenir de duchas y lavamanos.

En el fondo del depósito de acumulación de aguas grises queda sumergida la bomba de filtrado, la cual envía las aguas grises a través del posterior filtro de arenas y el filtro UV. En el depósito de acumulación de aguas limpias se acumulan las aguas depuradas y desinfectadas listas para su uso.

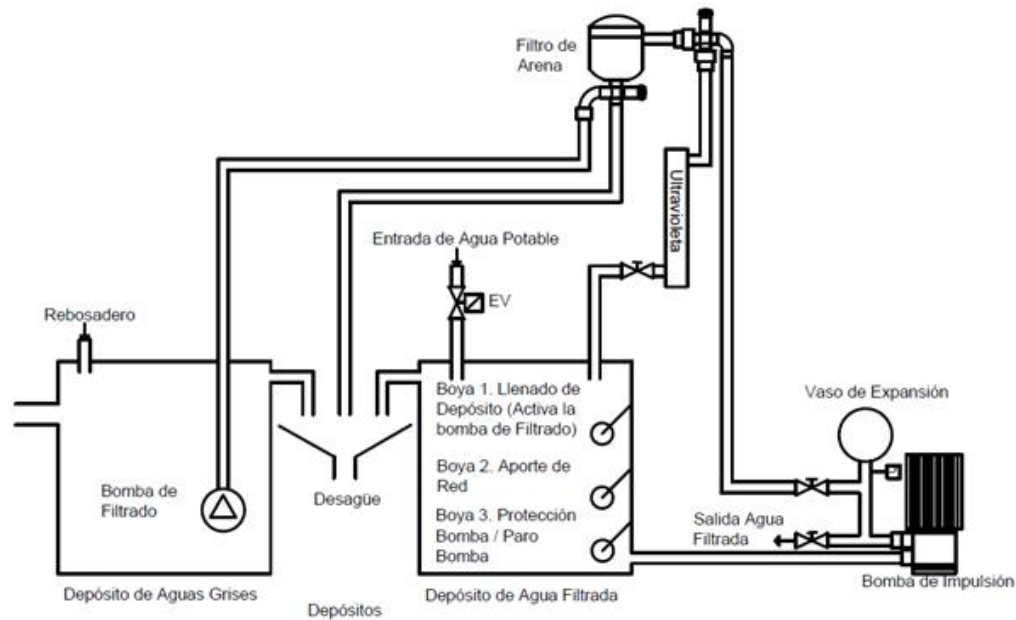
El deposito acumulador de aguas limpias se encuentra instalado un sistema de nivel que comanda el funcionamiento de la bomba de filtrado (sumergida en el depósito acumulador de aguas grises), de manera que todo el sistema de marcha/paro viene determinado por el nivel de aguas limpias acumuladas, o lo que es lo mismo, determinado

por la necesidad de agua tratada. Además de este sistema, el depósito tiene otros sistemas de seguridad para que el grupo de presión no trabaje en el vacío y para que en caso de necesidad de suministro de agua limpia y esté el depósito de acumulación de aguas grises vacío, se suministre agua de red sin ningún tipo de riesgo de mezcla.

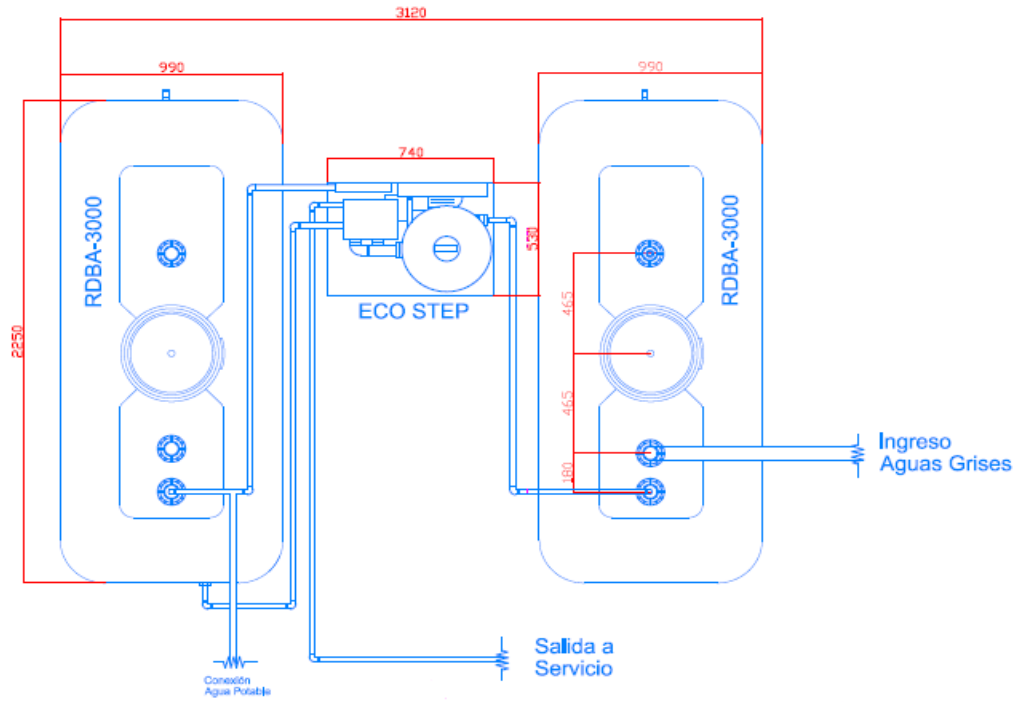
El equipo realiza de forma diaria y automáticamente un ciclo de limpieza del depósito de aguas grises y recirculando las aguas limpias acumuladas a través del filtro de UV. De esta forma se evita la generación de malos olores en el depósito de aguas grises si estas permanecen largos periodos de tiempo almacenadas. Además, las aguas limpias acumuladas mantienen todas las propiedades salubres debido a los sucesivos ciclos de desinfección, en caso de no ser consumidas diariamente.

El filtro de UV entra en funcionamiento solamente cuando arranca el proceso de filtrado, es decir, se pone en marcha el equipo. De esta forma se evitan incrustaciones calcáreas en la lámpara al alcanzar altas temperaturas en su interior.

Ilustración 7.2: Esquema del Equipo Eco-Step



Fuente: *Elaboración Propia en base a datos proporcionados por Mankuk. S.A.*

Ilustración 7.3: Dimensiones del Equipo Eco-Step

Fuente: Elaboración Propia en base a datos proporcionados por Mankuk. S.A.

7.5. Instalación del equipo

Deposito acumulación de aguas grises

Las aguas grises llegan por gravedad a la parte superior del depósito. Tras atravesar el filtro de gran volumen, para eliminar cabellos y otros materiales de gran tamaño, son acumuladas en el depósito. El depósito debe tener instalado un sistema de rebosadero conectado a desagüe que evacue los sobrantes de aguas grises.

La bomba de filtración sumergida en el depósito está conectada a un acople de 1" con una de las bocas superiores del depósito. Este acople es conectado con tubería PEAD 1" con la válvula de 6 vías.

Filtración y desinfección

El equipo cuenta con los siguientes componentes

- Filtro de Sílex: Equipo de filtración de lecho filtrante de varias granulometrías de sílex. La suciedad presente en el agua queda retenida en las partículas de arena.
- Lámpara ultravioleta: Desinfecta el agua filtrada destruyendo el material genético de virus y bacterias. Lámpara de 102 W aproximadamente.
- Panel de control y regulación de cloro: Sistema de control de impulsión, retrolavado, recirculación, sensor de nivel de cloro libre, alarma acústica para cambio de lámpara UV., con cuadro de comando general.
- Válvula de 6 vías: Gobierna el paso de agua de los distintos procesos (filtrado de agua, limpieza de filtro, salida agua de limpieza, etc.).
- Grupo de Presión: Envía el agua tratada a las cisternas y sistemas de riego o suministra agua para la limpieza del filtro de sílex.

Conexiones hidráulicas:

- Impulsión de bomba de filtración con entrada válvula de 6 vías.
- Salida del filtro de UV con acople a la entrada del depósito acumulación aguas tratadas.
- Salida inferior depósito acumulación aguas tratadas con aspiración grupo de presión.
- Salida aguas sucias de lavado de válvula de 6 vías a desagüe.
- Impulsión grupo de bombeo.
- Sistema de recirculación de aguas entre depósito.

Conexiones eléctricas necesarias:

- Conectar todos los equipos electromecánicos del equipo al cuadro de mando electrónico principal
- Conectar el sistema de nivel del depósito acumulador de aguas tratadas al cuadro de mando eléctrico principal.

En la siguiente imagen se presenta la depuradora de aguas Eco Step 6.0.

Ilustración 7.4: Eco Step 6.0



Fuente: Imagen proporcionada por Mankuk.

Deposito acumulación aguas tratadas

En el caso del depósito de recepción, el agua gris llega a él por la parte superior, mediante efecto de gravedad. En su interior cuenta con una boya de recirculación y otra para la lámpara UV. Adicionalmente se deberá contar con un sistema de rebosadero conectado al desagüe para eliminar los sobrantes, además de un accesorio de aireación para evitar la generación de malos olores.

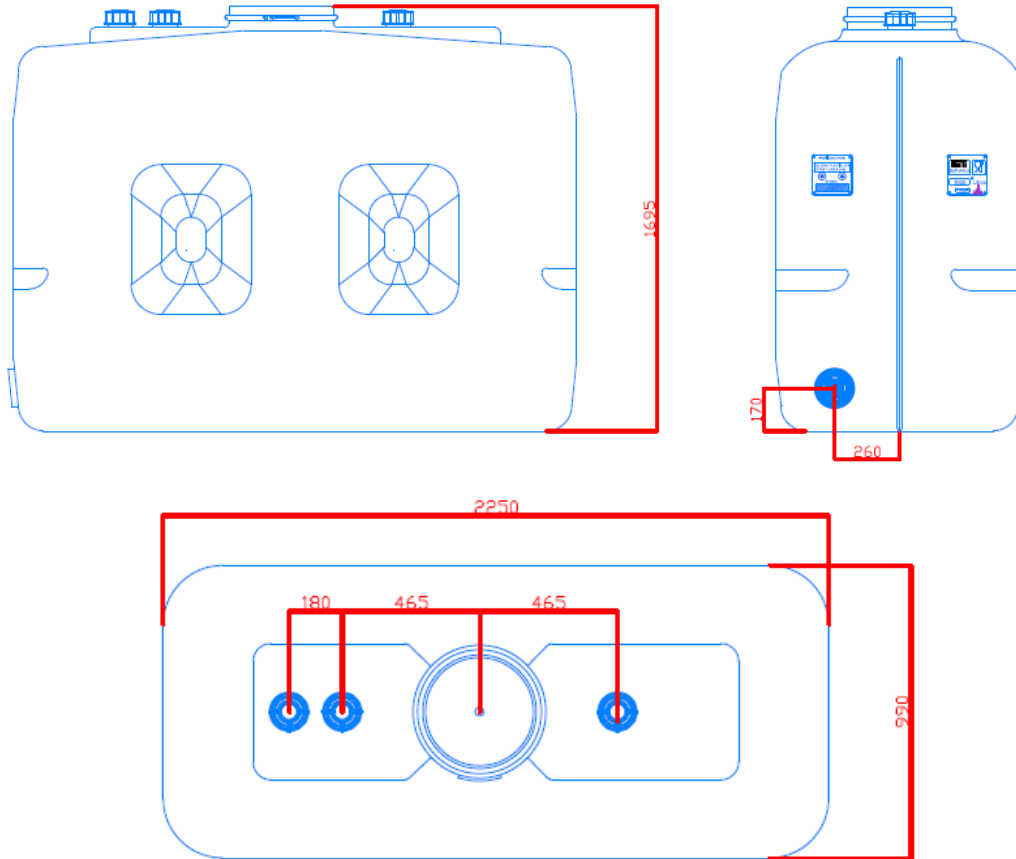
Por otro lado, las aguas ya depuradas, ingresan al estanque de acumulación por la parte superior de éste. Este depósito cuenta con 3 boyas, una de activación del aporte de red de agua potable, de activación de la bomba de filtrado y de paro de motor, esta última, para proteger el grupo de presión de trabajar en vacío.

Al igual que para el estanque de recepción, se recomienda el uso de un sistema de rebosadero conectado al desagüe que evacue el sobrante de aguas tratadas.

En una de las bocas superiores de llenado del depósito instalar la electro válvula que comanda la entrada de aguas de red para casos de necesidad. Esta electro válvula está conectada al sistema de nivel del propio depósito.

En la siguiente imagen se especifican las dimensiones del estanco.

Ilustración 7.5: Dimensiones Estanque ROTHAGUA® (RDBA 3000)



Fuente: Datos proporcionados por Mankuk S.A. Elaboración Propia

7.6. **Mantenimiento y limpieza**

El siguiente cuadro muestra el periodo de mantenimiento y las acciones a realizar de cada equipo del sistema de reutilización de aguas grises.

Tabla 7.4: Mantenimiento y Limpieza del Equipo

| Equipo | Acciones | Periodicidad | Observaciones |
|--|-----------------------------|---------------------|---|
| Filtro gran volumen | Limpieza del filtro | Semanal | La periodicidad depende de la suciedad del agua. |
| Depósito acumulación aguas grises | Limpieza | Mensual | Usar agua, jabón y desinfectante. |
| Filtro de arena | Revisión material Filtrante | Trimestral | Cada dos años remover el material filtrante. |
| Filtro UV | Cambio de lámpara | Anual | La lámpara de UV tiene una vida de 8000 h. aprox. |
| Deposito acumulación aguas tratadas | Limpieza | Mensual | Usar agua, jabón y desinfectante |
| Sistema de nivel | Revisión y limpieza | Mensual | Revisión de alturas de trabajo y limpieza de boyas |
| Grupo de presión | Revisar consumo | Anual | Comprobar que el consumo de la bomba es el nominal. Comprobar que no existen vibraciones. |
| Lámpara UV | Limpieza | Mensual | Desconectar y desmontar filtro UV para sacar lámpara y limpiar con trapo húmedo. |
| Válvula de 6 vías | Revisión general | Anual | Seguir recomendaciones del fabricante |

Fuente: ECO-STEP, Reutilización de Aguas Grises. Manual de transporte, instalación y mantenimiento.

Características especiales

La limpieza del filtro de arenas se realiza automáticamente por diferencia de presión a través de la válvula de 6 vías, la cual invierte el flujo limpiando a contracorriente el material filtrante. El ciclo de limpieza se realiza automáticamente cada 7 días o si alcanza la presión prefijada por obstrucción del filtro.

El filtro UV tiene un sistema de seguridad con aviso óptico y acústico que mide el grado de opacidad de la bombilla, logrando en todo momento un grado de eficiencia de desinfección óptimo. Cuando se detecta alta opacidad o mal funcionamiento de la lámpara del luz UV, todo el equipo Eco Step se deshabilita, de forma que se asegure un suministro de agua desinfectada, dejando entrar agua potable de la red para continuar con el suministro. La lámpara UV tiene una vida útil de 8.000 horas.

El equipo realiza de forma diaria y automática, un ciclo de limpieza del depósito de aguas grises, recirculando las aguas limpias acumuladas por el filtro UV. De esta forma se evita la generación de malos olores en el depósito de aguas grises si estas permanecen largos periodos de tiempo almacenada. Además, las aguas limpias acumuladas, mantienen todas las propiedades salubres debidas a los sucesivos ciclos de desinfección, en caso no ser consumidas diariamente.

7.7. *Diseño de Instalaciones de alcantarillado utilizando el método Hunter*

Para realizar el dimensionamiento de las instalaciones domiciliarias de aguas servidas se utilizará el método Hunter, entregado por la Súper Intendencia de Servicios Sanitarios.

Tabla 7.5: Unidades de Equivalencia Hidráulica (UEH) y diámetro de la descarga para cada artefacto según uso.

| Artefactos | Clase | Diámetro mínimo de descarga (mm) | U E H |
|----------------------|-------|----------------------------------|-------|
| Lavatorio | 1 | 38 | 1 |
| Lavatorio | 2 - 3 | 38 | 2 |
| Baño Lluvia | 1 | 50 | 2 |
| Baño Lluvia Múltiple | 2 - 3 | 50 | 6 |

Fuente: Instalaciones domiciliarias de alcantarillado – Diseño, cálculo y requisitos. Norma CH 3371. 2014.

Notas

- Clase 1 se aplicará a artefactos de viviendas unifamiliares, departamentos, privados de hoteles, privados de oficinas.
- Clase 2 se aplicará en servicios comunes de oficinas, fábricas y residenciales.
- Clase 3 se aplicará en servicios de escuelas, hoteles, edificios públicos, teatros, aeropuertos, estadios, terminales de trenes y buses, restaurantes.

Para calcular la capacidad de descarga de las tuberías, se utilizaron las tablas que se encuentran en el **anexo 6**.

Tabla 7.6: Calculo de la capacidad de descarga de las tuberías necesarias para la Escuela Naval, dependiendo de cada baño.

| Baño | Artefacto | Cantidad | UEH | Total | Diámetro de descarga (mm) | Longitud máxima de tubería para ventilación (metros) |
|--------------|-----------------------|----------|-----|-------|---------------------------|--|
| H 1-2 | Lavatorio | 120 | 1 | 120 | 75 | 63 |
| | Ducha Lluvia Múltiple | 1 | 6 | 6 | 75 | 63 |
| H 1-3 | Lavatorio | 120 | 1 | 120 | 75 | 63 |
| | Ducha Lluvia Múltiple | 1 | 6 | 6 | 75 | 63 |
| H 2-4 | Lavatorio | 100 | 1 | 100 | 75 | 63 |
| | Duchas Lluvia | 20 | 1 | 20 | 75 | 63 |
| | Ducha Lluvia Múltiple | 1 | 6 | 6 | 75 | 63 |
| H 3-3 | Lavatorio | 120 | 1 | 120 | 75 | 63 |
| | Ducha Lluvia Múltiple | 1 | 6 | 6 | 75 | 63 |
| H 3-4 | Lavatorio | 100 | 1 | 100 | 75 | 63 |
| | Ducha Lluvia | 27 | | 0 | 75 | 63 |
| H 4-2 | Lavatorio | 100 | 1 | 100 | 75 | 63 |
| | Ducha Lluvia | 27 | | 0 | 75 | 63 |
| H 4-3 | Lavatorio | 120 | 1 | 120 | 75 | 63 |
| | Ducha Lluvia Múltiple | 1 | 6 | 6 | 75 | 63 |
| H FP | Lavatorios | 63 | 1 | 63 | 75 | 63 |
| | Ducha Lluvia | 41 | 1 | 41 | 75 | 63 |

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta el diámetro nominal para cada baño, calcularemos el diámetro que deberían tener en total todos los baños.

Tabla 7.7: Diámetro de la descarga total los baños

| | Unidad de Descarga | Diámetro de la descarga (mm) | Longitud máxima tubería de ventilación (mm) |
|--------------|---------------------------|-------------------------------------|--|
| Baños | 934 | 125 | 75 |

Fuente: Elaboración Propia

Como ya hemos calculado anteriormente la producción máxima de aguas grises es de 18,4 m³/h, lo cual equivale a 5,11 L/min, de acuerdo a la siguiente tabla nuestro diámetro nominal debe ser menor de DN 125.

Tabla 7.8: Capacidad Hidráulica y Diámetro Nominal

| Tubería y ventilación de la tubería | Sistema I,II,III,IV Q_{máx} (L/s) | |
|--|--|--------------------------------|
| | Acoplamientos a escuadra | Acoplamientos en flecha |
| DN | | |
| 63 | 0,5 | 0,7 |
| 80 | 1,5 | 2,0 |
| 90 | 2,7 | 3,5 |
| 110 | 4,0 | 5,2 |
| 125 | 5,8 | 7,6 |
| 150 | 9,5 | 12,4 |
| 200 | 16,0 | 21,0 |

Fuente: Instalaciones domiciliarias de alcantarillado – Diseño, cálculo y requisitos. Norma CH 3371. 2014.

7.8. Bomba para regadío

Datos para el cálculo de la bomba impulsora:

Sector "Patio del Buque"

- 1.- Número de aspersores:
 - Estaciones: 5 líneas.
 - Aspersores: 11 por líneas.
 - Total aspersores: 55 aspersores.
- 2.- Tipos de aspersores y su caudal:
 - Tipo: rotor p.g.p. ultra hunter uparco por $\frac{3}{4}$ ".
 - Caudal: 1,7 GPM.
- 3.- Presión en el punto de regadío:
 - 40 a 50 psi.
- 4.- Caudal que llega desde la matriz de agua potable:
 - Ramal de incendio: q3 por 100 m³/hora.
 - Medidor: (q3/q1-315) cañería de 3".
 - Presión: 50 psi.
- 5.- Distancia en línea recta al lugar de la planta:
 - 14 metros

Sector "Cancha de Fútbol"

- 1.- Número de aspersores:
 - Estaciones: 7 líneas.
 - Aspersores: 5 por líneas.
 - Total aspersores: 35 aspersores.
- 2.- Tipos de aspersores y su caudal:
 - Tipo: rotor i-25-04 hunter hi por 1".
 - Caudal: 3.5 GPM.
- 3.- Presión en el punto de regadío:
 - 40 a 50 psi.
- 4.- caudal que llega desde la matriz de agua potable:
 - Ramal de incendio: q3 por 100m³/hora.
 - Medidor: (q3/q1-315) cañería de 3".

- Presión: 50 lb.

5.- Distancia en línea recta al lugar de la planta:

- 145 metros en chorro.

La ENAP en el sector de la CF riega con la presión entregada por la red de agua de Esva que es de 50 psi. En el caso del sector del buque la se riega con la presión entregada por la red de agua potable que es de 60 psi.

7.8.1. Calculo del tamaño de la bomba (Sector Cancha de Futbol).

Velocidad del agua en la succión = 0,9 m/s

Velocidad del agua en la descarga = 2,6 m/s

Para determinar las pérdidas por fricción utilizaremos la siguiente ecuación Darcy:

$$hl_{mayor} = f * \frac{L}{D} * \frac{u^2}{2g}$$

$$f = 0,01$$

Donde:

Nr: Numero de Reynols

D: Diámetro interno

u: Velocidad

ρ : Densidad

μ : Viscosidad

$$hl_{menor} = k * \frac{u^2}{2g}$$

Donde:

K: coeficiente de perdidas (0,42 codos 45°)

u: velocidad

g : gravedad

$$hl_{total} = hl_{mayor\ descarga} + hl_{mayor\ succion} + hl_{menor}$$

$$hl_{Total} = 6,86 + 0,02 + 0,69$$

$$hl = 7,57[m]$$

Ahora utilizaremos el teorema de Bernoulli

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2g} - hl + hb = Z_2 + \frac{P_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2g}$$

$$hb = Z_2 - Z_1 + hl$$

$$hb = 24,57[m]$$

Para calcular la potencia de la bomba utilizaremos la siguiente formula

$$Pot = \rho * hb * Q$$

Q: Caudal requerido para una estación 0,00022 m³/s

$$Pot = 53[w]$$

Q: Caudal requerido para todas las estaciones 0,0077 m³/s

$$Pot = 1855,9 [w]$$

7.8.2. Calculo del tamaño de la bomba (Sector Patio del Buque)

Calculo de las perdidas por fricción

K: Coeficiente de perdidas (0,9 codo 90°)

$$hl_{mayor} = f * \frac{L}{D} * \frac{u^2}{2g}$$

$$hl_{menor} = k * \frac{u^2}{2g}$$

$$hl_{total} = hl_{mayor\ descarga} + hl_{mayor\ succion} + hl_{menor}$$

$$hl_{total} = 3,81 + 0,46 + 0,31$$

$$hl_{total} = 4,58 [m]$$

Ahora utilizaremos el teorema de Bernoulli

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2g} - hl + hb = Z_2 + \frac{P_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2g}$$

$$hb = Z_2 - Z_1 + hl$$

$$hb = 7,58[m]$$

Para calcular la potencia de la bomba utilizaremos la siguiente formula

$$Pot = \rho * hb * Q$$

Q: Caudal requerido para una estación 0,00011 m³/s

$$Pot = 8,18 [w]$$

Q: Caudal requerido para todas las estaciones 0,00605 m³/s

$$449,8 [w]$$

De acuerdo a los cálculos obtenidos el tamaño necesario para regar las dos áreas, es necesario contar con una bomba de mínimo que pueda al menos satisfacer los dos sectores en simultáneo, por lo cual la bomba debe ser de 61,18 w además que pueda entregar un caudal 1,18 m³/h, para ambos sectores.

El equipo Eco-Step 6.0 contará con una bomba impulsora de 0.75 Kw a 220v, para un caudal de 4,8 m³/h por lo cual podremos satisfacer las necesidades de la Escuela Naval. Se utilizó una bomba de estas características por su menor costo, además esta bomba utiliza conexión monofásica.

De acuerdo al caudal que entrega nuestra bomba se podrá utilizar para regar más estaciones en simultáneo; según las estimaciones de los caudales necesarios para regar el patio del buque podremos utilizar 10 estaciones en simultáneo. En cambio para el sector de la cancha de futbol, solo se podrán utilizar 5 estaciones en simultáneo.

7.9. Conexiones e instalaciones

En primer lugar se designó el lugar para poder instalar la planta, en la siguiente imagen se presenta:

Ilustración 7.6: Lugar de instalación de planta de tratamiento de aguas grises



Este lugar tiene por dimensiones 20 m x 20 m y no se encuentra ocupado por la ENAP, este lugar se escogió por las siguientes razones:

- Fácil acceso de las aguas grises.
- Las aguas grises no tiene problemas ocasionados por pendiente.
- La pendiente nos favorece para regar la cancha de futbol.
- No se estropea el paisaje ni ambientación de la ENAP.

Primero es necesario excavar a 1 metro de profundidad, luego nivelar y por ultimo rellenar con una capa de maicillo, para poder instalar la planta de tratamiento de aguas grises, el equipo Eco-Step 6.0 será instalado en un radier de 1m x 1m x 0,1m. Para cubrir los estanques de la lluvia y el viento realizaremos un techo para cubrir el terreno de 400 m².

Se realizara una conexión eléctrica monofásica, la cual se obtendrá del edificio más cercano a la instalación de la planta, aproximadamente a 30 metros de distancia.

Para el caso del agua potable también se contará con una conexión proveniente del edificio más cercano a la planta, para ello se realizara un conexión subterránea de 20 cm en la cual utilizaran tuberías de 1" de pvc que abastecerán a la planta para limpiarla y en caso de que esta no se tenga la suficiente agua para abastecer el regadío.

Para el desagüe de los estanques se conectaran con una tubería de 2" pvc la cual estará enterrada a 20 cm y se conecta a una cámara de desagüe la cual se encuentra a 94 m de la planta de tratamiento, no tendremos problemas por la pendiente, ya que esta nos favorece.

Las aguas grises serán enviadas a la descarga y descenderán por el shaft de descarga de alcantarillado, para transportar las aguas grises se utilizarán tuberías de 3". Las aguas grises provenientes del edificio de Habitabilidad, llegarán por gravedad a la planta de tratamiento, la distancia que recorrerán las aguas grises, desde que salen del edificio hacia la planta es de 125 m. las tuberías utilizadas son de polietileno altamente resistente de DN125 y se instalarán al costado de la salida de las aguas lluvias.

Finalmente las tuberías que llevarán el agua tratada para el regadío de la cancha de fútbol son de 110 mm de polietileno de alta resistencia y se encuentra a una distancia de 145 m.

Para llevar el agua tratada al patio del buque utilizaremos tuberías de 110 mm de polietileno de alta resistencia y este se encuentra a una distancia de 65 m.

Cada costo de las instalación y obras civiles se encuentran en el anexo de Costos. Además se incluyen el tiempo de la obra, el tiempo de obra fue calculado de acuerdo a los antecedentes entregados por la Empresa Constructora Inversiones GVG Ltda.

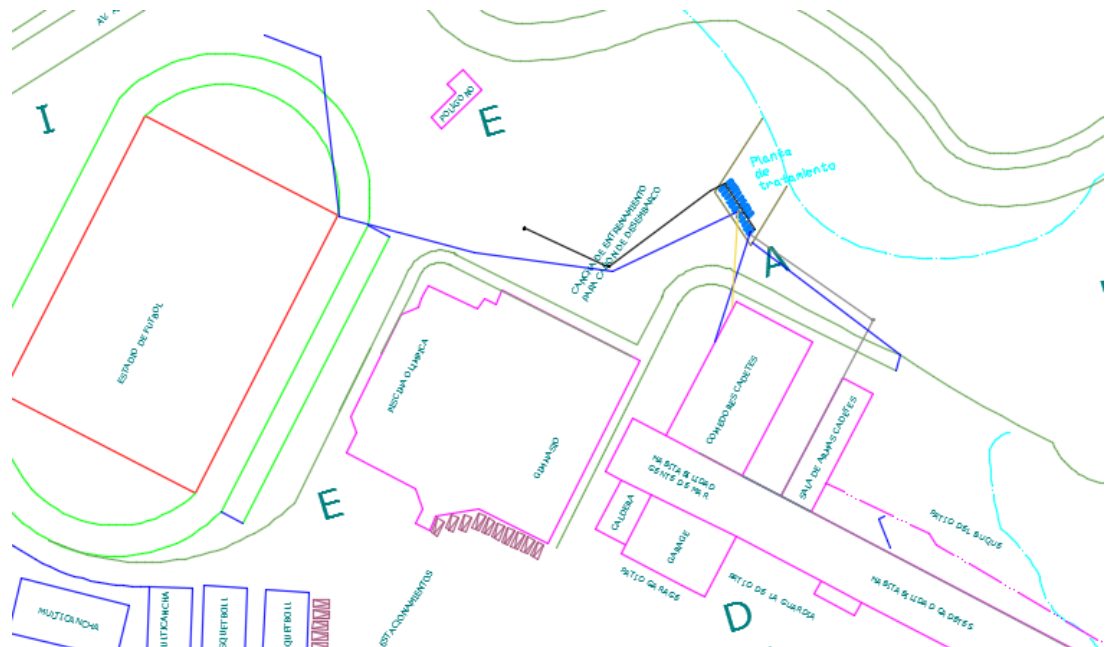


Ilustración 7.7: Ubicación de la Planta de tratamiento en la Escuela Naval

8. Resultados

8.1. Análisis de inversión del equipo Eco Step 6.0

A continuación se presenta el análisis de inversión, cuyo objetivo es estimar el tiempo de retorno de la inversión, el horizonte del proyecto será a 10 años. La inversión será recuperada por cada metro cubico de agua que se ahorre durante los 10 años, igualando el valor de la inversión inicial.

La inversión inicial de acuerdo a los costos que se calcularon es la siguiente:

Tabla 8.1: Inversión Inicial del proyecto de aguas grises

| | |
|--------------------------|--------------------------|
| Inversión Inicial | \$62.694.895,88.- |
|--------------------------|--------------------------|

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente tabla se presenta el detalle del costo de la inversión inicial

Tabla 8.2: Detalle del costo de la inversión inicial

| Equipo | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|----------|--------|----------------|-------------|
| Ítem | Descripción | Cantidad | Precio | Tipo de cambio | Total |
| 1.1. | Estanques | 20 | 1100 | 698,2 | 15.360.400 |
| 1.2 | Equipo | 1 | 19380 | 698,2 | 13.531.116 |
| 1.3 | IVA | 19% | | 698,2 | 5.515.919 |
| Fitting equipo y estanques | | | | | |
| 1.1. | Contrabrida 2" | 30 | 24,5 | 698,2 | 513.177 |
| 1.2 | Kit unión rothagua | 1 | 45 | 698,2 | 31.419 |
| 1.3 | Seta de aireación | 25 | 11,2 | 698,2 | 195.496 |
| 1.4 | Acoples 1 1/2" | 5 | 49 | 698,2 | 171.059 |
| 1.5 | Rebosadero DN 110 | 15 | 72 | 698,2 | 754.056 |
| 1.6 | Unión base 2 " | 7 | 86,5 | 698,2 | 422.760,1 |
| 1.7 | Unidad fila 2" | 20 | 99,6 | 698,2 | 1.390.814,4 |
| 1.8 | Indicador de nivel mecánico | 2 | 16,7 | 698,2 | 23.319,88 |
| 1.9 | IVA | 19% | 76,855 | 698,2 | 53.660,161 |

| Traslado | | | | | |
|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------|------------------------|--------------|
| Ítem | Descripción | Tipo de cambio | Precio | Total | |
| 1.1 | Desde Europa a la Escuela Naval | 736 | 6720 | 4.945.920 | |
| Radier | | | | | |
| Ítem | Descripción | Unidad | Cantidad | Precio Unitario | Total |
| 1.1 | Cemento | Saco | 0,6 | 4880 | 2.928 |
| 1.2 | Arena | m3 | 0,05565 | 18000 | 1.001,7 |
| 1.3 | Grava | m3 | 0,0958 | 17000 | 1.628,6 |
| Maquinaria y Equipamiento | | | | | |
| Ítem | Descripción | Unidad | Cantidad | Precio Unitario | Total |
| 1.1 | Excavadora | día | 2 | 150000 | 300.000 |
| 1.2 | Traslado | día | 2 | 120000 | 240.000 |
| 1.3 | Camión | cantidad | 2 | 130000 | 260.000 |
| 1.4 | Rodillo Compactador | día | 1 | 22500 | 22.500 |
| 1.5 | Operador | día | 2 | 25000 | 50.000 |
| 1.6 | Diésel | litros | 280 | 425 | 119.000 |
| Demolición | | | | | |
| Ítem | Descripción | Unidad | Cantidad | Precio Unitario | Total |
| 1.1 | Cemento | Saco | 2 | 4880 | 9.760 |
| 1.2 | Arena | m ³ | 0,32 | 18000 | 5.760 |
| 1.3 | Grava | m ³ | 0,32 | 17000 | 5.440 |
| 1.4 | Rotomartillo horas | 4 arriendo | 5 | 4568 | 22.840 |
| Mano de obra | | | | | |

| Ítem | Descripción | Unidad | Cantidad | Precio Unitario | Total | |
|---------------------------|--------------------------------|--------|----------|-----------------|-----------|-----------|
| 1.1 | Maestro Sanitarias+ ayudantes | I. 2 | Día | 24 | 55000 | 1.320.000 |
| 1.2 | Maestro eléctrico | | Día | 2 | 25000 | 50.000 |
| Materiales Fitting | | | | | | |
| Ítem | Descripción | | Cantidad | Precio Unitario | Total | |
| 1.1 | Cámara de registro 60x60 | | 4 | 21190 | 84.760 | |
| 1.2 | Tapa para alcantarillado 60 cm | | 4 | 4790 | 19.160 | |
| 1.3 | Tubos 125 mm de 1 m | | 300 | 37895 | 8.368.500 | |
| 1.4 | TEE de 125 mm | | 2 | 24605 | 49.210 | |
| 1.5 | Codos 90° de 125 mm | | 3 | 26835 | 80.505 | |
| 1.6 | Tubos 110 mm de 1 m | | 145 | 18745 | 2.718.025 | |
| 1.7 | Codos 90° de 110 mm | | 10 | 15229 | 152.290 | |
| 1.8 | Codos 45° de 110 mm | | 6 | 22127 | 132.762 | |
| 1.9 | Tubos eléctrico 20 mm 3m | | 10 | 625 | 6.250 | |
| 1.10 | Tubos 50 mm | | 94 | 5711 | 536.834 | |
| 1.11 | Tubos 25" | | 34 | 1059 | 36.006 | |
| 1.12 | Coplas 25" | | 33 | 213 | 7.029 | |
| 1.13 | Codo 90° 25 mm | | 1 | 244 | 244 | |
| 1.14 | Coplas 125 mm | | 303 | 15398 | 4.665.594 | |
| 1.15 | Coplas 110 mm | | 120 | 2670 | 320.400 | |
| 1.16 | Coplas 50 mm | | 32 | 877 | 28.064 | |
| 1.17 | Codos 45° de 50 mm | | 4 | 1775 | 7.100 | |
| 1.18 | Codos 90° de 50 mm | | 2 | 1752 | 3.504 | |
| 1.19 | Tapas 110 mm | | 10 | 2670 | 26.700 | |
| 1.20 | Cable eléctrico | | 2 | 2215 | 4.430 | |

| | | | | |
|--------------|--------------------------------|----|------|----------------------|
| 1.21 | Postes Madera | 7 | 3990 | 27.930 |
| 1.22 | Planchas zinc | 34 | 3590 | 12.2060 |
| 1.23 | Interruptor Automático de riel | 1 | 4095 | 4.095 |
| 1.24 | Relé | 1 | 4165 | 4.165 |
| 1.25 | Toma corriente | 1 | 3460 | 3.460 |
| 1.26 | Adhesivo Tuberías | 15 | 4290 | 64.350 |
| Total | | | | 62.694.895,88 |

Fuente: Elaboración Propia

8.1.1. Recuperación de la Inversión

Para realizar la recuperación de la inversión se ha tomado un año, utilizando otros valores para los días de vacaciones de verano e invierno, además de las vacaciones de septiembre y algunos festivos. Se utilizó cuatro cantidades de acuerdo al día en el año, como se presenta a continuación.

Tabla 8.3: Cantidades en m³ utilizados para cada día en el año

| Año Escolar | Cantidad |
|--------------------|----------------------|
| Lunes a Viernes | 41,12 m ³ |
| Sábado y Domingos | 1,16 m ³ |
| Vacaciones | |
| Lunes a Viernes | 20,33 m ³ |
| Sábado y Domingos | 0,58 m ³ |
| Festivos | 0,58 m ³ |

Fuente: Elaboración Propia

Cabe señalar que este cálculo se ha realizado con el valor de agua potable para la ciudad de Valparaíso, igual a \$730,97 por m³, más el costo fijo que es \$1114,00 por m³.

Además se tomó en cuenta el agua caída por mes en la ciudad de Valparaíso, en el **anexo 3**.

De acuerdo a estos datos se estimó que el ahorro anual podría ascender a los \$6.650.000.-

En la siguiente tabla se presenta como se comporta la recuperación de la inversión en cada año de la evaluación del proyecto.

Tabla 8.4: Recuperación de la Inversión

| Años | \$ |
|------|----------------|
| 0 | -62.694.895,88 |
| 1 | -56.348.527,48 |
| 2 | -49.940.234,7 |
| 3 | -43.753.894,92 |
| 4 | -37.330.896,74 |
| 5 | -31.223.073,22 |
| 6 | -24.963.274,62 |
| 7 | -18.723.198,64 |
| 8 | -12.386.745,66 |
| 9 | -6.053.930,659 |
| 10 | 276.535,669 |

Fuente: Elaboración Propia

En el siguiente gráfico presentamos la cantidad de años que nos conlleva recuperar la inversión. En el décimo año se recupera la inversión de acuerdo a la cantidad de agua recuperada y utilizada para regar la cancha de fútbol.

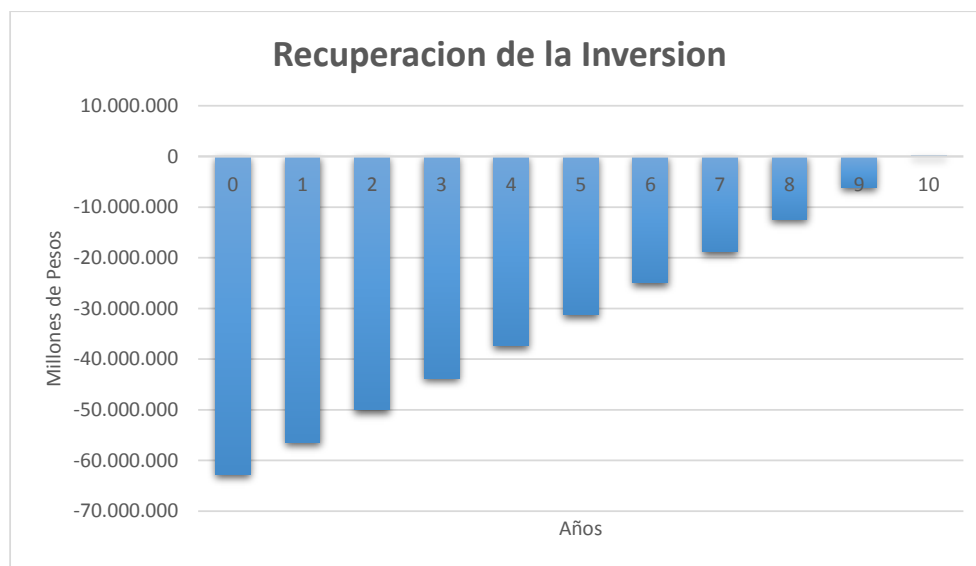


Gráfico 8.1: Representación de la recuperación de la inversión y ahorro

Fuente: Elaboración Propia

8.1.2. Flujo del proyecto

A continuación se presenta el flujo del proyecto, en el cual se consideraron los costos del agua con y sin proyecto, la diferencia entre ambos será el ahorro producido por la implementación del sistema de tratamiento.

Cabe destacar que la vida útil del sistema de tratamiento es de 20 años. Además se utilizó k_0 del 1%, calculado de acuerdo al patrimonio/activos y consultando con la Escuela Naval la tasa de descuento, ya que ellos serán los inversionistas.

Tabla 8.5: Flujo de caja del Proyecto

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Costo sin proyecto | | 6.639.289 | 6.725.213 | 6.479.260 | 6.739.919 | 6.400.744 | 6.576.719 | 6.532.997 | 6.653.373 | 6.625.736 | 6.647.387 |
| Costo con proyecto | | 292.921 | 316.921 | 292.921 | 316.921 | 292.921 | 316.921 | 292.921 | 316.921 | 292.921 | 316.921 |
| Costos Producción | | 200.921 | 200.921 | 200.921 | 200.921 | 200.921 | 200.921 | 200.921 | 200.921 | 200.921 | 200.921 |
| Costos Mantenición | | 92.000 | 116.000 | 92.000 | 116.000 | 92.000 | 116.000 | 92.000 | 116.000 | 92.000 | 116.000 |
| Utilidad | | 6.346.368 | 6.408.293 | 6.186.340 | 6.422.998 | 6.107.824 | 6.259.799 | 6.240.076 | 6.336.453 | 6.332.815 | 6.330.466 |
| Inversión | 62.694.896 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Flujo caja | -62.694.896 | 6.346.368 | 6.408.293 | 6.186.340 | 6.422.998 | 6.107.824 | 6.259.799 | 6.240.076 | 6.336.453 | 6.332.815 | 6.330.466 |
| VAN | -3.051.092 | 6.283.533 | 6.282.024 | 6.004.400 | 6.172.375 | 5.811.385 | 5.897.013 | 5.820.232 | 5.851.608 | 5.790.345 | 5.730.889 |
| TIR | | 0,080% | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo al flujo del proyecto se puede observar que las utilidades del resultado serán positivas, en todos los años ya que es el ahorro producido por la implementación del sistema de tratamiento de aguas.

En cuanto al VAN podemos observar que será negativo, por lo cual el proyecto no será rentable a 10 años. Pero si es proyectado a más años, a partir del año 11 el VAN será positivo. Por otro lado el TIR es menor que la tasa de descuento, por lo cual el proyecto debiese rechazarse, pero como he mencionado anteriormente en los próximos años el TIR será mayor a la tasa de descuento.

Finalmente de acuerdo a estos antecedentes no debiésemos implementar el proyecto de reutilización de aguas, pero éste se debe considerar e implementar, ya que provocará una disminución en la Huella Hídrica y por ende una disminución en la demanda de agua potable; lo que conlleva a una contribución en una ayuda de medio ambiente y por último la Escuela Naval cumplirá su objetivo de convertirse en un Campus Sustentable.

8.1.3. Recuperación de la inversión de acuerdo a la capacidad de usos del Equipo

A modo de proyección, para realizar la recuperación de la inversión se han considerado diferentes factores de capacidad de uso del equipo, los cuales varían entre el 10% a 100%. Adicionalmente, como una forma de obtener un modelo más próximo de la realidad, se ha considerado la producción de aguas en las vacaciones, fines de semana y la en la semana.

Como se observa, la tendencia de comportamiento es la reducción en la cantidad de años de recuperación de la inversión inicial, así, para los 41,12 m³ correspondiente al 26% de la capacidad de uso del equipo, el periodo de recuperación ocurre a los 9,48 años de realizar la inversión.

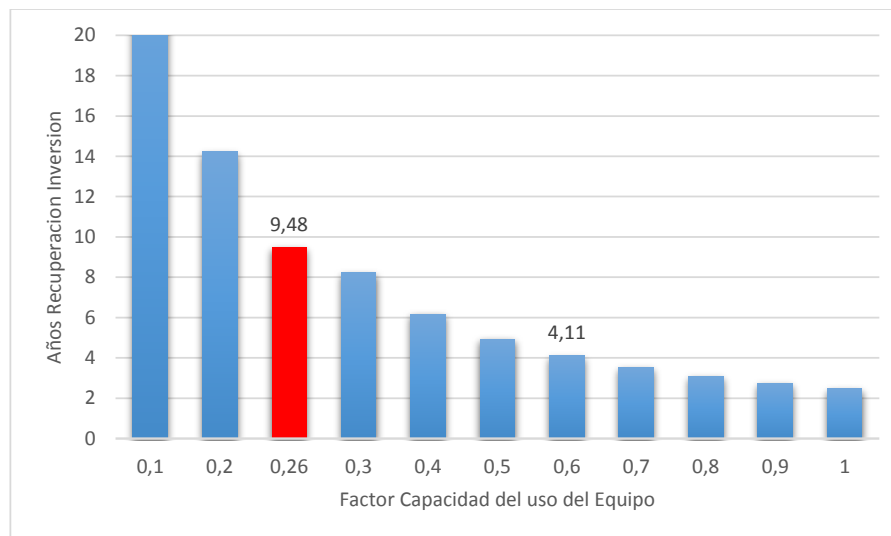


Gráfico 8.2: Recuperación de la Inversión

Fuente: Elaboración Propia

Sí, el equipo trabajará al 60% de su capacidad, la recuperación de la inversión sería cercana a 4,11 años es una de las razones para expandir este proyecto.

8.1.4. Cuantificación del Ahorro

En relación al ahorro que se genera una vez realizada la recuperación de la inversión, para los 41,12 m³ de agua recuperada, el ahorro anual será de aproximadamente \$6.600.000.- Es decir luego de los 9,48 años tras la recuperación de la inversión, la implementación del sistema de reutilización de aguas grises significaría un ahorro de \$6.600.000.-

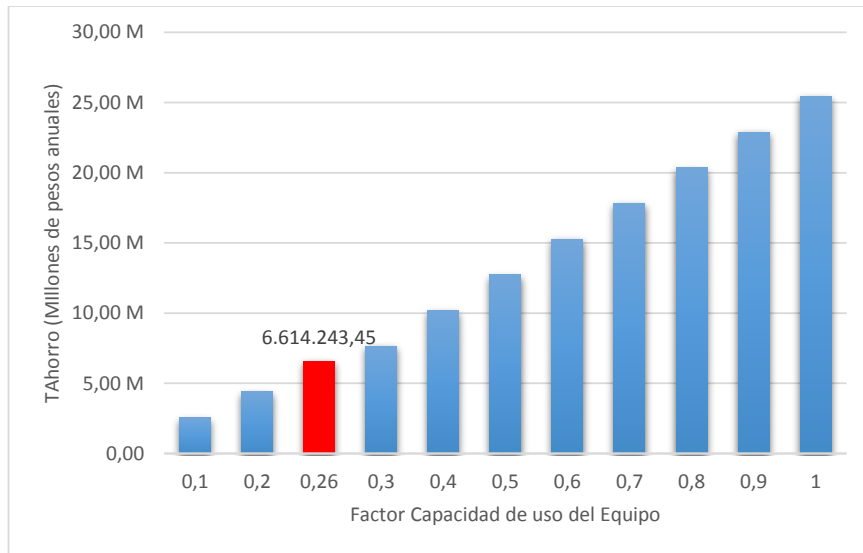


Gráfico 8.3: Ahorro de acuerdo a la capacidad de uso del Equipo

Fuente: Elaboración Propia

9. Conclusiones

- La producción de aguas grises obtenidas desde el edificio de habitabilidad será de 41,12 m³ al día de lunes a viernes, durante el fin de semana la recuperación será de 1,16 m³ al día, por lo cual al mes serán 833,7 m³ aproximadamente.
- El sistema de tratamiento de aguas grises cuenta con un filtro de arena de sílex, para reducir la turbiedad de las aguas grises y con un filtro UV que permitirá eliminar los microorganismos patógenos presentes en el agua, además cuenta con un sistema de bombeo que podrá satisfacer las necesidades actuales de la Escuela Naval “Arturo Prat”
- La Huella Hídrica de la Escuela Naval, sin incorporar el sistema de tratamiento de aguas grises el valor de está es de 53.184 m³. Al incorporar el sistema de tratamiento de aguas grises lograremos reducir en un 18,34% la Huella Hídrica Verde. Disminuir esta cantidad de agua utilizada en un proceso habla del compromiso que enfrentamos hoy como sociedad ante la escasez del agua, ya que según los estudios mencionados anteriormente, el agua a futuro pasará a ser un recurso natural no renovable.
- La incorporación de un sistema de tratamiento de aguas grises provocara un ahorro estimado en \$6.600.000.- anuales, por lo cual la inversión se recuperará en un tiempo estimado de 10 Años.
- La Escuela Naval podrá cumplir uno de sus objetivos como institución al implementar el tratamiento de aguas para ser reutilizadas, ya que firmó un acuerdo con el CPL, para convertirse en un “Campus Sustentable” y ser pioneros a nivel nacional.
- El sistema de tratamiento de aguas grises podrá expandirse con el fin de obtener agua desde otros sectores de la Escuela Naval, como es el sector de lavandería, el cual también produce aguas grises en grandes cantidades. Para ello será necesario incorporar mayor cantidad de estanques modulares y el gran desafío será modificar el sistema de alcantarillado.

10. Bibliografías

1. [AgroDer12], (2012). Huella hídrica en México en el contexto de Norteamérica. WWF México y AgroDer. México DF. 2015 Sitio web: <http://www.huellahidrica.org/Reports/AgroDer,%202012.%20Huella%20h%C3%AAdrica%20en%20M%C3%A9xico.pdf>
2. [Allen06] Richard G. Allen, Luis S. Pereira, Dirk Raes, Martin Smith. (2006). Evapotranspiración del Cultivo. 2016, de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Sitio web: <ftp://ftp.fao.org/agl/aqlw/docs/idp56s.pdf>
3. [Álvarez14] Nelson Álvarez Ovalle. (2014). Sistema de Optimización Hídricos. 2016, de Universidad de Chile Sitio web: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/117616/Alvarez%20Ovalle%20Nelson.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
4. [Bello&Pinto00] Marco Antonio Bello, María Teresa Pinto. (2000). Medición de Presión y Caudal. 2016, de Instituto de Investigaciones agropecuarias Sitio web: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR25635.pdf>
5. [Bermejo12] David Bermejo Amaldos. (2012). Reutilización de aguas residuales domésticas. Estudio y comparativa de tipologías edificatorias: depuradoras naturales como alternativa sostenible. 2015, de Universidad de Alicante Sitio web: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/29576/1/MEMORIA_TFM_sep_2012_David_Bermejo.pdf
6. [Bravo11] María Belén Bravo. (2011). Reutilización de Aguas Grises. 2015, de Cámara Chilena de la Construcción Sitio web: <http://biblioteca.cchc.cl/DataFiles/23333-2.pdf>
7. [Comeval13] Comeval. (2013). Caudal de Circulación en tuberías. 2016, de Comeval Sitio web: <http://www.comeval.es/pdf/tablas/Caudal%20de%20circulaci%C3%B3n%20en%20tuber%C3%ADas%20-%20COMIEVAL.pdf>
8. [Egaña et al; 12] Tomas Egaña, Giorgio Jackson, Cristian Neely, Gonzalo Pedreira, Oscar Poblete, Rodolfo Ponce, Francisco Valle. (2012). Planta de reutilización de aguas grises, comuna de La Pintana. 2016, de Pontificia Universidad Católica de Chile Sitio web: <http://puentesuc.cl/wp-content/uploads/2012/04/Evaluacion-Social-Planta-Reutilizacion-Aguas-Grises-La-Pintana.pdf>
9. [ESVAL17] Esval. (2016). Tarifas de Agua potable y alcantarillado. 2016, de Esval Sitio web: <http://portal.esval.cl/oficina-virtual/tarifas/valparaiso/>

10. [Figuroa16] Sargento Javier Figuroa, Sustentabilidad Escuela Naval "Arturo Prat" Valparaíso, Información Verbal y documentos.
11. [Franco07] María Verónica Franco Alvarado. (2007). Tratamiento y reutilización de aguas grises con aplicación a caso en Chile. 2015, de Universidad de Chile.
12. [Franke62] Consulta plano Escuela Naval "Arturo Prat", Valparaíso. Plano sector Habitabilidad, Proyecto Alcantarillado. Arquitecto: Carlos Franke Flecher, Autorizado por: Alejandro Navarrete Torres. Año 1962.
13. [Garcés11] Manuel Antonio Garcés Valenzuela. (2011). Análisis Técnico de la Huella Hídrica como Indicador de Sustentabilidad del Uso del Agua en la Producción del Concentrado de Cobre en División El Teniente Codelco. 2015, de Universidad de Chile Sitio web: http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-garces_mv/pdfAmont/cf-garces_mv.pdf
14. [Hoekstra et al; 11] Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. and Mekonnen, M.M. (2011) The water footprint assessment manual: Setting the global standard, Earthscan, London, UK. 2016. Sitio Web: http://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf
15. [Hosmi10] Jacobo Homsí Auchén. (2010). Reglamento General de alcantarillados particulares, fosas sépticas, cámaras filtrantes, cámaras de contacto, cámaras absorbentes y letrinas domiciliarias. 2015, de Dirección General de Aguas Sitio web: <http://documentos.dga.cl/ISA5279.pdf>
16. [Huerta et al; 11] Gustavo Huerta Arenas, David Jiménez Tellez, Enrique Prado Rodríguez. (2011). Sistema Automático Recuperador de Agua Pluvial y Aguas Grises. 2016, de Instituto Politécnico Nacional Sitio web: <http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/10562/1/72.pdf>
17. [INN14] Comité Técnico CL003 Sistemas y componentes de fluidos de uso general. (2014). Instalaciones domiciliarias de alcantarillado. 2015, de Instituto Nacional de Normalización Sitio web: http://www.siss.gob.cl/577/articles-5853_Nch_3371.pdf
18. [Kestler04] Patricia Jamilette Kestler Rojas. (2004). Uso, Reuso y Reciclaje del Agua Residual en una Vivienda. 2015, de Universidad Rafael Landívar Sitio web: http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/uso_reuso.pdf
19. [Lillo07] Lorena Lillo García. (2007). Cálculo y diseño de la instalación de reutilización de aguas grises y recogida de aguas pluviales en un edificio de viviendas. 2016, de Universidad Politécnica de Catalunya Sitio web: <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/4590>

20. [López09] Camilo López Trujillo. (2009). Guía para la utilización de Aguas Grises en establecimientos Educativos. 2015, de Comisión Nacional de Medio Ambiente Sitio web: http://www.sinia.cl/1292/articles-49934_GuiaLavamanosEducacionAmbiental.pdf
21. [Mankuk16] Mankuk S.A. ECO-STEP, Reutilización de Aguas Grises. Manual de transporte, instalación y mantenimiento; 2016.
22. [MINSAL84] Ministerio de Salud. (1984). Normas oficiales para la calidad del agua Chile. 2015, de Gobierno de Chile Sitio web: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacq/e/fulltext/chile/chile.pdf>
23. [Montt06] Robert L. Montt. Mecánica de fluidos, Sexta Edición. México: Pearson Educación 2006 Cap.3, 34-65; Cap.6, 143-171.
24. [MOP12] Ministerio de Obras Públicas. (2012). Chile Cuida su Agua. 2015, de Gobierno de Chile Sitio web: http://www.mop.cl/documents/ENRh_2013_OK.pdf
25. [MSGG01] Ministerio Secretaria General de la Presidencia. (2001). Establece Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Contaminantes Superficiales. 2015, de Gobierno de Chile Sitio web: http://www.dga.cl/administracionrecursoshidricos/Documents/DTO_90_07_MAR_2001.pdf
26. [Nicolai12] Christian Nicolai Orellana. (2012). Guía de mejores técnicas para la reutilización de aguas grises en el sector gastronómico y de alojamiento turístico. 2015, de Consejo Nacional de Producción Limpia Sitio web: http://www.agataaq.cl/wp-content/uploads/2015/06/guia15_aguasgrises.pdf
27. [Otero07] Natalia Otero Calviño. (2007). Filtración de Aguas Residuales para reutilización. 2015, de Universidad de la Laguna Sitio web: <ftp://tesis.bbt.k.ull.es/ccppytec/cp273.pdf>
28. [Palma09] Ignacio Javier Palma Carazo. (2009). Reutilización de Aguas Grises en la Edificación. 2015, de Instituto Valenciano de la Edificación Sitio web: http://www.five.es/cursos-jornadas/Aqua250609/C_Ignacio_Palma_Carazo/4.pdf
29. [Pinto12] Carik Nicole Pinto González. (2012) . Propuestas de Mejora para Reducir el Consumo del Recurso Hídrico, a través del Cálculo de la Huella Hídrica, en la Planta Conservera de Mariscos Trans Antartic, Chiquihue, Región de los Lagos. 2015. Universidad de Valparaíso Facultad de Ciencias.
30. [Rodríguez08] DR. Roberto Rodríguez. (2008). Reutilización de Aguas Grises. 2015, de Universidad Tecnológica Nacional Sitio web: http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/Aqua-Reutilizacion_aguas_grises.pdf

31. [Rubio16] Sebastián Rubio, Ingeniero en Construcción; Valparaíso DuocUC, información verbal.
32. [Sanz07] David Sanz Escribano. (2007). Estudio de Viabilidad de la Reutilización de las Aguas Residuales Depuradas de una Planta Petroquímica Mediante Tecnología de Membrana. 2015, de Universidad Politécnica de Valencia Sitio web: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12904/DESARROLLO%20DE%20UN%20SISTEMA%20DE%20OI%20PARA%20LA%20REUTILIZACI%C3%93N%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20DEPURADAS%20DE%20UNA%20PLANTA%20.pdf?sequence=1>
33. [Sapag&Sapag83] Nassir Sapag, Reinaldo Sapag. (1983). Preparación y Evaluación de Proyectos. Bogotá: McGraw-Hill Interamericana.
34. [SASA11] Servicios ambientales S.A. Huella de Ciudades. (2011). Manual para la evaluación de la Huella Hídrica. 2016, de Waterfootprint Sitio web: <http://waterfootprint.org/media/downloads/ManualEvaluacionHH.pdf>
35. [SISS03] Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2003). Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado. 2016, de Gobierno de Chile Sitio web: https://www.nuevosur.cl/hogar/descarga_certificado.php?f=include/legislacion_sanitaria/RIDAA-Aprueba_Reglamento_de_Instalaciones_Domiciliarias_de_Agua_Potable_y_Alcantarillado.pdf&nombre=RIDAA-Aprueba_Reglamento_de_Instalaciones_Domiciliarias_de_Agua_Potable_y_Alcantarillado.pdf
36. [SISS11] Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2011). Manual para el hogar. 2015, de Gobierno de Chile Sitio web: http://www.siss.gob.cl/577/articles-8644_Manual_para_hogar.pdf
37. [SISS11] Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2011). Manual del Cliente. 2015, de Gobierno de Chile Sitio web: http://www.siss.gob.cl/577/articles-8797_manual_cliente.pdf
38. [Sotelo et al; 16] José Antonio Sotelo Navalpotro, Jorge Olcina Cantos, Alfredo Tolón Becerra, José María García Alvarado, Xavier Bolívar Lastra Bravo, Fernando García Quiroga, María Sotelo Pérez, Ignacio Sotelo Pérez. (Diciembre 2011). Huella Hídrica, Desarrollo y Sostenibilidad en España. 2016, de Fundación Mapfre Sitio web: <http://www.huellahidrica.org/Reports/FundacionMapfre-2011-huella-hidrica-y-desarrollo-sostenible.pdf>
39. [THC16] THC. (2016). Catalogo 2016, Fabrica lider en el transporte de Agua Potable. 2016, de THC Sitio web: http://thc.cl/catalogo/catalogo_junio_2016.pdf

40. [Valenzuela97] Alejandro Valenzuela. (1997). Estudio Comparativo de Eficiencia de Riego en California (Usa) y Valle Central de Chile. 2015, de Universidad de Concepción Sitio web: http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=S0304-88021997000200008&script=sci_arttext
41. [Varela16] Samuel Varela, Ingeniería Civil Industrial Valparaíso UV 2016, información verbal.
42. [Villavicencio et al; 13] Abelardo Villavicencio, Francisco Tapia, Alfonso Osorio, Gabriel Selles, Raúl Ferreyra, Alejandro Antúnez, Sofía Flemer, Hamil Uribe, Francisco Salazar, Hernán Elizalde, Josué Martínez, Rodolfo Poblete, Alexis Pérez, Paula Riquelme, Felipe Riquelme, Cristóbal Campos. (2013). Determinación de la Huella Hídrica del Agua y Estrategia de Manejo de Recursos Hídricos. 2016, de Instituto de Investigaciones agropecuarias Sitio web: <http://www2.inia.cl/medios/intihuasi/actas/NR38988.pdf>
43. [Winpenny et al; 13] James Winpenny, Ingo Heinz, Sasha Koo-Oshima. (2013). Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?. 2016, de FAO Sitio web: <http://www.fao.org/docrep/017/i1629s/i1629s.pdf>

11. Anexos

1. Anexo: Cálculo de la recuperación de aguas grises.

Primero se determinó la cantidad de duchas y lavamanos a las cuales les realizaríamos el muestreo. Se determinaron las poblaciones totales de:

- Lavamanos: 900
- Duchas Hilera: 6
 - Rosetas: 162 (cada ducha hilera cuenta con 27 rosetas)
- Duchas Pileta: 74

Para calcular la cantidad de la muestra se utilizó la siguiente fórmula,

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Donde:

n: tamaño de la muestra

N: Total de la población

Z_{α} : Valor Obtenido mediante niveles de confianza (95%)

P: Proporción esperada

q: 1 - p

e: Limite aceptable del error maestroal (5%)

Con un intervalo de confianza del 95% y un error del 5%, la cantidad de muestras que debemos realizar a cada ducha y lavamanos son las siguientes:

- Lavamanos: 67
- Duchas Hilera: 3
 - Rosetas: 51
- Duchas Pileta: 37

Para determinar los caudales de duchas y lavamanos, tomaremos muestras al azar de cada uno de los baños del Edificio de "Habitabilidad", estos son los datos obtenidos:

Consideraciones:

- Para determinar el caudal de los lavamanos se utilizó un recipiente de 500 cc.
- Para determinar el caudal de las duchas se utilizó un recipiente de 3000 cc.

Tabla 11.1: Datos de los caudales de lavamanos y duchas

| Nº de muestra | Caudal lavamanos | Caudal Duchas | Caudal Duchas hilera | Unidad |
|---------------|------------------|---------------|----------------------|--------|
| 1 | 53,47593583 | 130,1518438 | 66,66666667 | cc/seg |
| 2 | 49,95004995 | 130,4347826 | 78,94736842 | cc/seg |
| 3 | 35,66333809 | 115,3846154 | 81,08108108 | cc/seg |
| 4 | 53,53319058 | 151,5151515 | 100,8064516 | cc/seg |
| 5 | 30,46922608 | 117,1875 | 89,76660682 | cc/seg |
| 6 | 45,24886878 | 119,2842942 | 72,86859364 | cc/seg |
| 7 | 28,92263196 | 142,1127428 | 101,488498 | cc/seg |
| 8 | 60,60606061 | 139,9906673 | 95,38950715 | cc/seg |
| 9 | 59,52380952 | 160,4278075 | 76,41365257 | cc/seg |
| 10 | 95,96928983 | 110,0513573 | 94,78672986 | cc/seg |
| 11 | 101,010101 | 107,1428571 | 87,51458576 | cc/seg |
| 12 | 62,89308176 | 147,7832512 | 74,00098668 | cc/seg |
| 13 | 54,7645126 | 153,8461538 | 76,29704985 | cc/seg |
| 14 | 68,87052342 | 142,2475107 | 77,92207792 | cc/seg |
| 15 | 59,52380952 | 134,2882722 | 66,22516556 | cc/seg |
| 16 | 139,6648045 | 128,0409731 | 70,58823529 | cc/seg |
| 17 | 40 | 161,637931 | 74,03751234 | cc/seg |
| 18 | 50 | 109,2896175 | 101,6949153 | cc/seg |
| 19 | 33,11258278 | 128,8659794 | 91,79926561 | cc/seg |
| 20 | 45,37205082 | 96,64948454 | 82,39494644 | cc/seg |
| 21 | 55,0660793 | 126,8498943 | 76,72634271 | cc/seg |
| 22 | 54,64480874 | 122,2493888 | 100,3344482 | cc/seg |
| 23 | 55,0660793 | 112,5703565 | 85,1546977 | cc/seg |
| 24 | 40 | 96,33911368 | 72,76255154 | cc/seg |
| 25 | 54,64480874 | 104,5296167 | 65,91957811 | cc/seg |
| 26 | 48,6381323 | 117,3249902 | 95,84664537 | cc/seg |
| 27 | 59,88023952 | 146,6992665 | 78,125 | cc/seg |
| 28 | 58,89281508 | 107,5654356 | 84,74576271 | cc/seg |
| 29 | 69,3481276 | 173,2101617 | 100,5025126 | cc/seg |
| 30 | 52,24660397 | 196,9796454 | 83,8691641 | cc/seg |
| 31 | 51,70630817 | 117,8781925 | 93,8379731 | cc/seg |
| 32 | 41,28819158 | 135,1351351 | 76,47208769 | cc/seg |
| 33 | 37,31343284 | 142,8571429 | 79,76601968 | cc/seg |
| 34 | 66,57789614 | 129,3103448 | 92,1942225 | cc/seg |
| 35 | 58,47953216 | 155,5209953 | 88,20935019 | cc/seg |
| 36 | 55,49389567 | 170,7455891 | 94,78672986 | cc/seg |
| 37 | 49,9001996 | 139,7949674 | | cc/seg |
| 38 | 39,09304144 | 139,8601399 | | cc/seg |
| 39 | 37,09198813 | 149,775337 | | cc/seg |

| | | | | |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|--------|
| 40 | 68,96551724 | 127,6595745 | | cc/seg |
| 41 | 35,68879372 | 103,0927835 | | cc/seg |
| 42 | 44,60303301 | 94,04388715 | | cc/seg |
| 43 | 40,3551251 | 151,1335013 | | cc/seg |
| 44 | 54,22993492 | 106,2699256 | | cc/seg |
| 45 | 52,35602094 | 163,7554585 | | cc/seg |
| 46 | 49,35834156 | 138,2488479 | | cc/seg |
| 47 | 45,2079566 | 148,0750247 | | cc/seg |
| 48 | 58,82352941 | 158,7301587 | | cc/seg |
| 49 | 40,95004095 | 154,2416452 | | cc/seg |
| 50 | 37,11952487 | 155,4404145 | | cc/seg |
| 51 | 43,47826087 | | | cc/seg |
| 52 | 34,48275862 | | | cc/seg |
| 53 | 51,54639175 | | | cc/seg |
| 54 | 49,01960784 | | | cc/seg |
| 55 | 58,89281508 | | | cc/seg |
| 56 | 55,3709856 | | | cc/seg |
| 57 | 53,93743258 | | | cc/seg |
| 58 | 43,78283713 | | | cc/seg |
| 59 | 58,54800937 | | | cc/seg |
| 60 | 58,61664713 | | | cc/seg |
| 61 | 63,53240152 | | | cc/seg |
| 62 | 68,11989101 | | | cc/seg |
| 63 | 37,85011355 | | | cc/seg |
| 64 | 46,42525534 | | | cc/seg |
| 65 | 58,54800937 | | | cc/seg |
| 66 | 60,16847172 | | | cc/seg |
| 67 | 53,99568035 | | | cc/seg |
| Promedio | 53,40178261 | 134,2443946 | 84,16508285 | cc/seg |

Fuente: Elaboración Propia

Luego de haber obtenido los caudales, realizamos un modelo estadístico del tiempo estimado que ocupan los cadetes para ducharse. Los tiempos varían de acuerdo a la antigüedad de los cadetes, y si los baños presentan duchas pileta.

Tabla 11.2: Tiempo de utilización de duchas por cadetes

| Baño | Tiempos Min | Descripción |
|--------|-------------|------------------|
| H – 12 | 3 a 5 | Cadetes |
| H – 13 | 3 a 5 | Cadetes |
| H – 23 | - | Sin Uso |
| H – 24 | 5 | Olimpo M |
| H – 33 | 3 a 5 | Cadetes |
| H – 34 | 5 | Olimpo F |
| H – 42 | 5 | Cadetes Femenino |
| H – 43 | 3 a 5 | Cadetes |

Fuente: Datos proporcionados por la Escuela Naval. Elaboración Propia

Esta información fue entregada por el personal de la Escuela, principalmente por el encargado de las instalaciones de los baños el Sargento Cristian Díaz.

Realizamos una encuesta a una muestra de la población de cadetes, el tamaño de la muestra son 56 cadetes, la encuesta consta de dos preguntas:

1. ¿Cuánto tiempo tardas en ducharte?
 - a) 3 minutos
 - b) 4 minutos
 - c) 5 minutos
 - d) Más de 5 minutos

Para la pregunta número uno los resultados nos arrojaron que el 68% de los encuestados tarda 3 minutos en ducharse, mientras que 21% tarda 4 minutos en ducharse, el 9% tarda 5 minutos en ducharse y el 5% tarda más de 5 minutos en ducharse.

Para determinar la probabilidad de cuantos minutos utilizan los cadetes para ducharse, utilizaremos un modelo probabilístico con distribución binomial, ya que nuestra variable toma valores conocidos y finitos.

$$p(x = k) = \binom{n}{k} p^k * q^{n-k}$$

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k! (n - k)!}$$

Donde:

n: es el número de pruebas

k: es el número de éxitos

p: es la probabilidad de éxito

q: es la probabilidad de fracaso

¿Cuál es la probabilidad de que máximo 15 cadetes se duchen en 3 minutos?

Los datos que utilizaremos son los siguientes: el número de pruebas será 5, el tamaño de la muestras es de 20 cadetes, el número de éxitos 8 y la probabilidad de éxito es del 68%.

La probabilidad es del 82%. Es muy probable que 15 o menos cadetes se duchen en 3 minutos.

Para el caso del personal de la Escuela se consultó con personal de la escuela y estos nos comentaron que el tiempo estimado de tiempo que utilizan para ducharse es de 5 minutos aproximado.

Para calcular el tiempo estimado de utilización de un lavamanos, se tomaron antecedentes de distintas instituciones como la Superintendencia de Servicios Sanitarios. Y el tiempo estimado de utilización del lavamanos es de dos minutos.

Teniendo los caudales y el tiempo que se utiliza para las duchas y lavamanos, se determinó la cantidad de cadetes y personal de la Escuela Naval.

Los cadetes son 371 y el personal armada son 301. Esta dotación solo es de lunes a viernes. La utilización de las duchas y lavamanos son de dos veces al día. De acuerdo a estos datos utilizamos la siguiente ecuación.

$$Q = q * v * c * t$$

Donde:

Q: Caudal total diario

q: Caudal de lavamanos o duchas

v: veces de la utilización de los baños (2 veces diarias)

c: cantidad de cadetes o Personal de la Escuela.

t: tiempo de utilización de duchas o lavamanos.

2. Anexo: Pronostico del consumo de agua potable del consumo total para el año 2016

Según los datos entregados por la ENAP referentes al consumo de agua potable de años anteriores, podemos presentar la siguiente tabla.

Tabla 11.3: Pronostico consumo agua potable del consumo total para el año 2016

| MES | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | Unidad |
|------------|-------|-------|-------|------|--------|---------|----------------|
| Enero | 6406 | 14511 | 7675 | 6386 | 9802 | 8556,1 | m ³ |
| Febrero | 9079 | 8416 | 11977 | 9298 | 8048 | 9009,6 | m ³ |
| Marzo | 10673 | 11488 | 14058 | 9077 | 11049 | 10771,3 | m ³ |
| Abril | 7603 | 8775 | 6920 | 8004 | 8271 | 8084,1 | m ³ |
| Mayo | 5874 | 6830 | 6009 | 6097 | 7769 | 7432,9 | m ³ |
| Junio | 5494 | 5126 | 3792 | 4410 | 5993 | 5047,6 | m ³ |
| Julio | 3814 | 3937 | 3051 | 3717 | 6719 | 5924,6 | m ³ |
| Agosto | 4561 | 5481 | 3942 | 3571 | 4377 | 3703 | m ³ |
| Septiembre | 5545 | 5140 | 4178 | 4232 | 4263 | 3630 | m ³ |
| Octubre | 7912 | 6199 | 6970 | 4798 | 3665 | 2940,3 | m ³ |
| Noviembre | 9602 | 6980 | 7242 | 8961 | 7781 | 7614,9 | m ³ |
| Diciembre | 9530 | 9102 | 10107 | 8825 | 9113,5 | 9002,5 | m ³ |

Fuente: Elaboración Propia

Pronostico del consumo de agua potable del medidor principal para el año 2016

Según los datos entregados por la ENAP referentes al consumo de agua potable del medidor principal de años anteriores, podemos presentar la siguiente tabla:

Tabla 11.4: Pronostico del consumo de agua potable del MPEN para el año 2016

| MES | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | Unidad |
|------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|----------------|
| Enero | 1938 | 4726 | 1469 | 1553 | 2200 | 1582,5 | m ³ |
| Febrero | 2894 | 1002 | 2320 | 2869 | 2523 | 2659,1 | m ³ |
| Marzo | 4494 | 4680 | 3842 | 3679 | 4959 | 4309,5 | m ³ |
| Abril | 4267 | 3998 | 3257 | 3789 | 3073 | 2897,7 | m ³ |
| Mayo | 3914 | 4117 | 2981 | 3551 | 3275 | 3014,4 | m ³ |
| Junio | 4283 | 4009 | 3084 | 3183 | 3053 | 2536,6 | m ³ |
| Julio | 3639 | 3334 | 2509 | 2753 | 2483 | 2075,7 | m ³ |
| Agosto | 4276 | 4225 | 3065 | 2907 | 2681 | 2078,4 | m ³ |
| Septiembre | 4.442 | 3.828 | 3.035 | 2.581 | 3.144 | 2253,1 | m ³ |
| Octubre | 4180 | 2831 | 3215 | 2782 | 2583 | 2145,3 | m ³ |
| Noviembre | 3925 | 3325 | 3218 | 3260 | 2906,5 | 2696,3 | m ³ |
| Diciembre | 3.839 | 3.520 | 3.651 | 3.295 | 3201 | 3050,9 | m ³ |

Fuente: Elaboración Propia

Pronostico del consumo de agua potable del medidor ramal de incendios y agua potable para el año 2016

Según los datos entregados por la ENAP referentes al consumo de agua potable del medidor ramal de incendios y regadío de años anteriores, podemos presentar la siguiente tabla.

Tabla 11.5: Pronostico de consumo de agua potable del medidor ramal de incendios y regadío para el año 2016

| MES | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | Unidad |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| Enero | 4468 | 9785 | 6206 | 4833 | 7602 | 6973,6 | m ³ |
| Febrero | 6185 | 7414 | 9657 | 6429 | 5525 | 6350,5 | m ³ |
| Marzo | 6179 | 6808 | 10216 | 5398 | 6090 | 6461,8 | m ³ |
| Abril | 3336 | 4777 | 3663 | 4215 | 5198 | 5186,4 | m ³ |
| Mayo | 1960 | 2713 | 3028 | 2546 | 4494 | 4418,5 | m ³ |
| Junio | 1211 | 1117 | 708 | 2560 | 2940 | 3177,5 | m ³ |
| Julio | 175 | 603 | 542 | 3268 | 4236 | 5000,9 | m ³ |
| Agosto | 285 | 1256 | 877 | 1563 | 1696 | 2074,1 | m ³ |
| Septiembre | 1.103 | 1.312 | 1.143 | 1.651 | 1.119 | 1376,9 | m ³ |
| Octubre | 3732 | 3368 | 3755 | 2016 | 1082 | 795 | m ³ |
| Noviembre | 5677 | 3655 | 4024 | 5701 | 4874,5 | 4918,6 | m ³ |
| Diciembre | 5.691 | 5.582 | 6.456 | 5.530 | 5.913 | 5951,6 | m ³ |

Fuente: Elaboración Propia

3. Anexo: Pronostico de precipitaciones para el año 2016

Según los datos obtenidos por la ENAP, las lluvias ocurridas en años anteriores, se puede observar que la máxima cantidad de agua caída en los dos últimos años es de aproximadamente 140 mm o L/m² durante un mes.

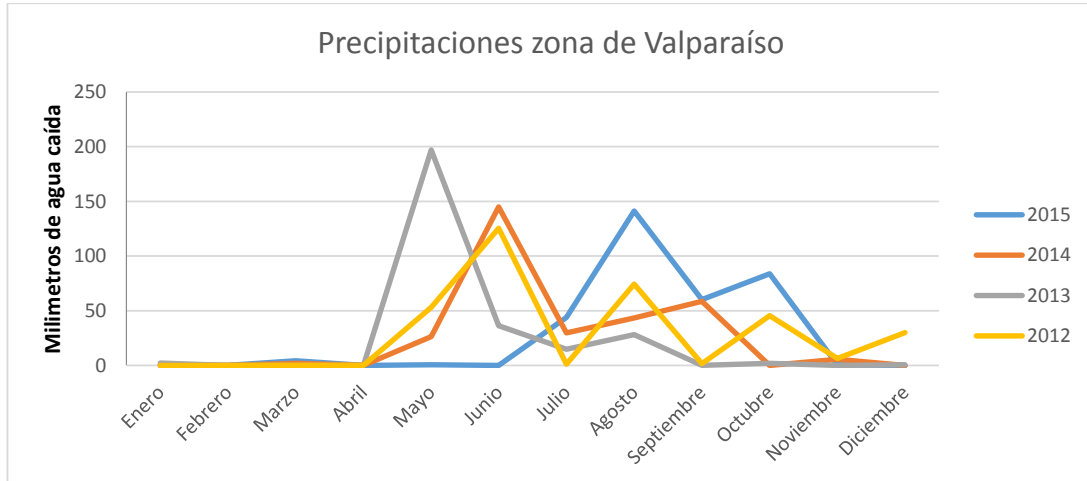


Gráfico 11.1: Precipitaciones anuales zona de Valparaíso

Fuente: Datos obtenidos del SHOA, a través de la "Escuela Naval". Elaboración Propia.

En la siguiente tabla se presenta la cantidad de agua caída por mes para el año 2016.

Tabla 11.6: Precipitaciones 2016

| Mes | L/m ² |
|------------|------------------|
| Enero | 1,7 |
| Febrero | 0,0 |
| Marzo | 0,1 |
| Abril | 1,4 |
| Mayo | 24,9 |
| Junio | 60,1 |
| Julio | 13,9 |
| Agosto | 67,9 |
| Septiembre | 39,5 |
| Octubre | 34,9 |
| Noviembre | 0,5 |
| Diciembre | 6,0 |

Fuente: Datos obtenidos del SHOA, a través de la "Escuela Naval". Elaboración Propia

A continuación presentaremos el pronóstico de agua caída para el año 2016.

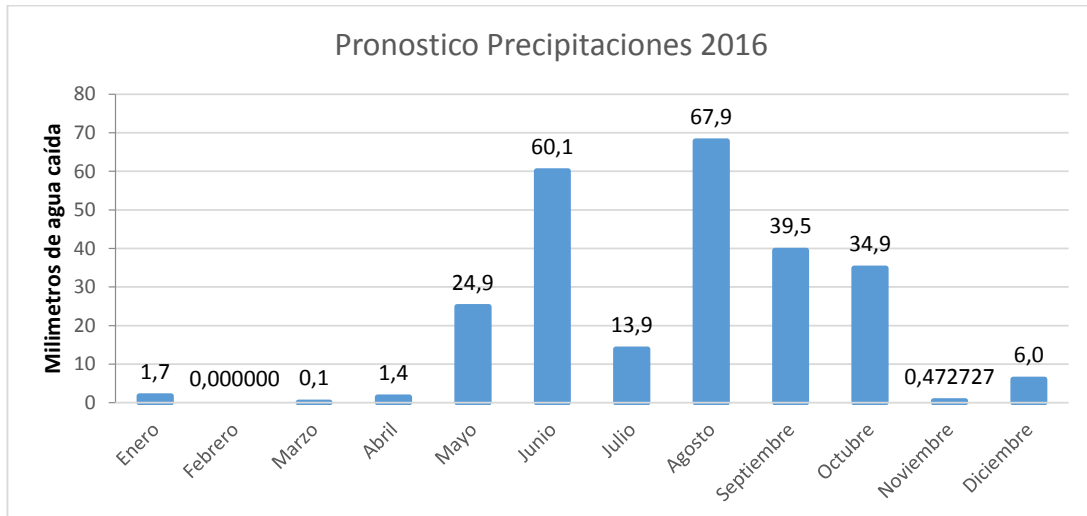


Gráfico 11.2: Pronostico precipitaciones 2016

Fuente: Datos Obtenidos del SHOA, a través de la Escuela Naval "Arturo Prat"

Según lo conversado con el SHOA, las precipitaciones serán menores que años anteriores, por lo cual se deberán regar diariamente las áreas verdes de la ENAP, y no se deberá contar con un estanque almacenador de agua. Si llueve durante la semana (lunes a viernes) y no se utilice el agua gris para regadío tendremos que desechar esa cantidad de agua acumulada.

4. Anexo: Definición de parámetros que caracterizan a las aguas grises

Conductividad eléctrica: es la medida de la capacidad del agua para conducir electricidad y la resistividad es la medida recíproca. Son iniciativas de la materia ionizable presente en el agua. El agua pura prácticamente no conduce electricidad; por lo tanto la conductividad que podamos medir será consecuencia de impurezas presentes en el agua.

Sólidos Suspendidos Totales (SST): Corresponde a la cantidad de material (sólidos) que es retenido después de realizar la filtración de un volumen de agua. Es importante como indicador puesto que su presencia disminuye el paso de la luz a través de agua evitando su actividad fotosintética en las corrientes, importante para la producción de oxígeno.

Sólidos disueltos totales (SDT): son la suma de los minerales, sales, metales, cationes o aniones disueltos en el agua. Esto incluye cualquier elemento presente en el agua que no sea (H₂O) molécula de agua pura y sólidos en suspensión. (Sólidos en suspensión son partículas / sustancias que ni se disuelven ni se asientan en el agua, tales como pulpa de madera.)

En general, la concentración de sólidos disueltos totales es la suma de los cationes (carga positiva) y aniones (cargado negativamente) iones en el agua. Partes por millón (ppm) es la relación peso-a-peso de cualquier ion al agua.

Turbiedad: La turbidez es la dificultad del agua, para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se presentan principalmente en aguas superficiales. Son difíciles de decantar y filtrar, y pueden dar lugar a la formación de depósitos en las conducciones de agua, equipos de proceso, etc. Además interfiere con la mayoría de procesos a que se pueda destinar el agua. La turbidez nos da una noción de la apariencia del agua y sirve para tener una idea acerca de la eficiencia de su tratamiento.

Temperatura: La temperatura del agua afecta a la solubilidad de sales y gases y en general a todas sus propiedades químicas y a su comportamiento microbiológico. La actividad biológica se duplica cada diez grados.

DQO: Demanda química de oxígeno determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua residual, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo.

DBO5: Demanda Biológica de Oxígeno Factor que indica la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias, para degradar y estabilizar la materia orgánica en condiciones aeróbicas. Expresados en mg. de oxígeno por litro de muestra. Medido en 5 días.

Fosforo (P): El fosforo no presenta toxicidad en los seres vivos, la presencia de fosfatos en aguas potables indica la posibilidad de contaminación del acuífero por aguas contaminadas o aguas residuales

Potasio (K): El ión potasio, K⁺, también corresponde a sales de muy alta solubilidad y difíciles de precipitar.

Las aguas dulces no suelen contener más de 10 ppm. El agua de mar contiene alrededor de 400 ppm. Vemos que son valores mucho menos importantes que los del catión sodio.

Nitrógeno total o kjeldahl: Es la cantidad de nitrógeno que se determina por el método Kjeldahl, incluye el nitrógeno de compuestos y nitrógeno amoniacal.

En el caso de los vegetales y animales, el nitrógeno se encuentra en forma orgánica, en un medio acuoso este rápidamente se transforma en nitrógeno amoniacal de esta forma encontramos mucho nitrógeno amoniacal en el agua lo que significa que estamos en presencia de materia orgánica en descomposición, en un medio que no requiere mucho oxígeno.

El nitrógeno orgánico incluye productos naturales, como las proteínas y pépticos ácidos nucleicos y urea y números materiales orgánicos sintéticos. Su presencia en altas concentraciones puede provocar el crecimiento acelerado de plantas acuáticas.

Nitrato (NO_3): Los nitritos son indeseables en las aguas potables ya que pueden causar la enfermedad conocida como metahemoglobina. Cuando una persona consume altas cantidades de nitritos, puede morir por asfixia. La norma de calidad de agua potable permite un máximo de 10 mg/L de nitrógeno en forma de nitrato.

pH: Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.

Surfactantes: Los surfactantes entran en las aguas limpias y residuales principalmente por descarga de residuos acuosos del lavado doméstico e industrial de ropa y otras operaciones de limpieza. Se emplea a los surfactantes en la industria de los jabones y detergentes como emulsificantes, tensoactivos y/o espumantes.

Los surfactantes son moléculas que contienen un segmento liposoluble (soluble en aceite) y otro hidrosoluble (soluble en agua).

Coliformes Fecales: Proviene de las heces de origen animal y vegetal, se halla en agua residual, en agua y suelos naturales que han sufrido contaminación reciente, ya sea de seres humanos, operaciones agrícolas o de animales y aves salvajes.

Coliformes Totales: Pueden hallarse tanto en heces como en el medio ambiente, por ejemplo aguas ricas en nutrientes, suelos, materiales vegetales en descomposición. También hay especies que nunca o casi nunca se encuentran en las heces pero que se multiplican en el agua. Riesgos de infecciones para el ser humano por ingestión o inhalación.

5. Anexo: Requisitos para la calidad del Agua para riego

Norma Chilena Oficial NCh 1333.Of78.Modificada en 1978.

Requisitos de la calidad del agua para diferentes usos.

Esta norma se debe aplicar a las aguas destinadas a los usos siguientes:

- a) Agua para consumo humano;
- b) Agua para la bebida de animales;
- c) Riego;
- d) Recreación y estética;
- e) Vida acuática.

En nuestro caso solo presentaremos el punto C).

Requisitos químicos

PH

El agua para riego debe tener un pH comprendido entre 5,5 y 9,0.

Elementos químicos

En la siguiente tabla se dan a conocer los valores máximos permisibles de algunos elementos químicos en agua de riego.

Tabla 11.7: Concentraciones máximas de elementos químicos en agua para riego.

| Elemento | Unidad | Límite Máximo |
|----------------------|---------------|----------------------|
| Aluminio (Al) | mg/l | 5,00 |
| Arsénico (As) | mg/l | 0,10 |
| Bario (Ba) | mg/l | 4,00 |
| Berilio (Be) | mg/l | 0,10 |
| Boro (B) | mg/l | 0,75 |
| Cadmio (Cd) | mg/l | 0,010 |
| Cianuro (CN) | mg/l | 0,20 |
| Cloruro (Cl) | mg/l | 200,0 |
| Cobalto (Co) | mg/l | 0,050 |
| Cobre (Cu) | mg/l | 0,20 |
| Cromo (Cr) | mg/l | 0,10 |
| Fluoruro (F) | mg/l | 1,00 |

| | | |
|---|------|--------|
| Hierro (Fe) | mg/l | 5,00 |
| Litio (Li) | mg/l | 2,50 |
| Litio (cítricos) | mg/l | 0,075 |
| Manganeso (Mn) | mg/l | 0,20 |
| Mercurio (Hg) | mg/l | 0,001 |
| Molibdeno (Mo) | mg/l | 0,010 |
| Níquel (Ni) | mg/l | 0,20 |
| Plata (Ag) | mg/l | 0,20 |
| Plomo (Pb) | mg/l | 5,00 |
| Selenio (Se) | mg/l | 0,020 |
| Sodio porcentual (Na) | mg/l | 0,020 |
| Sulfato (Na) | mg/l | 35,00 |
| Sulfato (SO ₄ ⁻) | mg/l | 250,00 |
| Vanadio (V) | mg/l | 0,10 |
| Zinc (Zn) | mg/l | 2,00 |

Fuente: NCh1333-1978

El ministerio de Obras Publicas podrá autorizar los calores mayores o menores para los límites máximos de cada uno de los elementos de la tabla 20, mediante Resolución fundada en aquellos casos calificados que así lo determinen.

Conductividad específica y solidos disueltos totales

En la tabla 5.2 se da una clasificación de aguas para riego de acuerdo a sus condiciones de salinidad, en base a características de conductividad específica y concentración de solidos disueltos totales.

Tabla 11.8: Clasificación de aguas para riego según su salinidad

| Clasificación | Conductividad específica, c, μ mhos/cm a 25°C | Solidos disueltos totales, s, mg/l a 105°C |
|--|---|--|
| Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales | $c \leq 750$ | $s \leq 500$ |
| Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles | $750 < c \leq 1500$ | $500 < s \leq 1000$ |
| Agua que puede tener efectos | $1500 < c \leq 3000$ | $1000 < s \leq 2000$ |

| | | |
|---|----------------------|----------------------|
| adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos | | |
| Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos | $3000 < c \leq 7500$ | $2000 < s \leq 5000$ |

Fuente: NCh1333-1978

Los valores de conductividad específica de un curso o masa de agua particular no deben ser incrementados más allá de los límites que la Autoridad Competente determine, de acuerdo con el tipo de cultivo, manejo del agua y calidad excepcional del suelo.

Pesticidas

Herbicidas

La autoridad competente se debe pronunciar en cada caso específico.

No se considera que tenga efectos perniciosos en agua para riego.

Requisitos bacteriológicos

El contenido de coliformes fecales en aguas de riego destinadas al cultivo de verduras y frutas que se desarrollan a ras de suelo y que habitualmente se consumen en estado crudo, debe ser menor o igual a 1000 coliformes fecales / 100 ml.

6. Anexo: Método Hunter

A continuación se presentan las talas utilizadas para determinar la capacidad de descarga de las tuberías.

Tabla 11.9: Capacidad de las tuberías de descarga

| Diámetro de la descarga (mm) | Máximo de UEH | |
|------------------------------|---------------|---------------------|
| | En cada piso | En toda la descarga |
| 50 | 6 | 24 |
| 75 | $16/n + 8$ | 80 |
| 100 | $120/n + 60$ | 600 |
| 125 | $270/n + 135$ | 1500 |
| 150 | $480/n + 240$ | 2800 |

Fuente: Instalaciones domiciliarias de alcantarillado – Diseño, cálculo y requisitos. Norma CH 3371. 2014.

Nota: n corresponde al número de artefactos por piso.

Tabla 11.10: Longitud máxima en metros de tubería de ventilación en relación con el diámetro de descarga

| Diámetro de Tubería de descarga en (mm) | Unidades de Equivalencia Hidráulicas | Diámetro de Tubería de ventilación en (mm) | | |
|---|--------------------------------------|--|-----|-----|
| | | 75 | 100 | 125 |
| | | Longitud máxima de tubería para ventilación (metros) | | |
| 75 | 12 | 63 | | |
| 75 | 18 | 63 | | |
| 75 | 24 | 63 | | |
| 75 | 36 | 63 | | |
| 75 | 48 | 63 | | |
| 75 | 72 | 63 | | |
| 100 | 24 | 60 | 90 | |
| 100 | 48 | 35 | 90 | |
| 100 | 96 | 25 | 90 | |

Fuente: Instalaciones domiciliarias de alcantarillado – Diseño, cálculo y requisitos Norma CH 3371. 2014.

7. Anexo: Tabla Caudal de circulación Q(m³/h)

Tabla 11.11: Tabla Caudal de Circulación por tuberías

| CAUDAL DE CIRCULACIÓN Q(m ³ /h) p/tubería ASTM schedule estándar | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------------------|--|
| DN | v(m/s) | 1 | 1,25 | 1,5 | 1,75 | 2 | 3 | 4 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | Coefficiente Caudal/Área | |
| 3/8" | 10 | 0,45 | 0,56 | 0,67 | 0,78 | 0,89 | 1,34 | 1,79 | 2,24 | 4,47 | 6,71 | 8,95 | 11,19 | 13,42 | 15,66 | 17,90 | 0,45 | |
| 1/2" | 15 | 0,71 | 0,88 | 1,06 | 1,24 | 1,41 | 2,12 | 2,82 | 3,53 | 7,06 | 10,59 | 14,12 | 17,65 | 21,18 | 24,70 | 28,23 | 0,71 | |
| 3/4" | 20 | 1,24 | 1,55 | 1,86 | 2,17 | 2,48 | 3,72 | 4,95 | 6,19 | 12,39 | 18,58 | 24,77 | 30,97 | 37,16 | 43,35 | 49,54 | 1,24 | |
| 1" | 25 | 2,01 | 2,51 | 3,01 | 3,51 | 4,01 | 6,02 | 8,03 | 10,03 | 20,07 | 30,10 | 40,13 | 50,17 | 60,20 | 70,23 | 80,26 | 2,01 | |
| 1-1/4" | 32 | 3,47 | 4,34 | 5,21 | 6,08 | 6,94 | 10,41 | 13,89 | 17,36 | 34,72 | 52,07 | 69,43 | 86,79 | 104,1 | 121,5 | 138,9 | 3,47 | |
| 1-1/2" | 40 | 4,73 | 5,91 | 7,09 | 8,28 | 9,46 | 14,19 | 18,92 | 23,65 | 47,30 | 70,95 | 94,60 | 118,2 | 141,9 | 165,5 | 189,2 | 4,73 | |
| 2" | 50 | 7,80 | 9,75 | 11,69 | 13,64 | 15,59 | 23,39 | 31,18 | 38,98 | 77,96 | 116,9 | 155,9 | 194,9 | 233,9 | 272,9 | 311,8 | 7,80 | |
| 2-1/2" | 65 | 11,12 | 13,90 | 16,68 | 19,46 | 22,24 | 33,36 | 44,48 | 55,60 | 111,2 | 166,8 | 222,4 | 278,0 | 333,6 | 389,2 | 444,8 | 11,12 | |
| 3" | 80 | 17,17 | 21,46 | 25,75 | 30,04 | 34,33 | 51,50 | 68,67 | 85,83 | 171,7 | 257,5 | 343,3 | 429,2 | 515,0 | 600,8 | 686,7 | 17,17 | |
| 4" | 100 | 29,57 | 36,96 | 44,35 | 51,74 | 59,13 | 88,70 | 118,3 | 147,8 | 295,7 | 443,5 | 591,3 | 739,2 | 887,0 | 1034,8 | 1182,7 | 29,57 | |
| 5" | 125 | 46,47 | 58,09 | 69,70 | 81,32 | 92,94 | 139,4 | 185,9 | 232,3 | 464,7 | 697,0 | 929,4 | 1161,7 | 1394,1 | 1626,4 | 1858,8 | 46,47 | |
| 6" | 150 | 67,13 | 83,91 | 100,7 | 117,5 | 134,3 | 201,4 | 268,5 | 335,6 | 671,3 | 1006,9 | 1342,5 | 1678,1 | 2013,8 | 2349,4 | 2685,0 | 67,13 | |
| 8" | 200 | 116,2 | 145,3 | 174,3 | 203,4 | 232,4 | 348,7 | 464,9 | 581,1 | 1162,2 | 1743,3 | 2324,4 | 2905,4 | 3486,5 | 4067,6 | 4648,7 | 116,22 | |
| 10" | 250 | 183,1 | 228,9 | 274,7 | 320,5 | 366,3 | 549,4 | 732,6 | 915,7 | 1831,5 | 2747,2 | 3663,0 | 4578,7 | 5494,5 | 6410,2 | 7325,9 | 183,15 | |
| 12" | 300 | 262,7 | 328,4 | 394,1 | 459,8 | 525,5 | 788,2 | 1051,0 | 1313,7 | 2627,5 | 3941,2 | 5254,9 | 6568,7 | 7882,4 | 9196,1 | 10509,9 | 262,75 | |
| 14" | 350 | 320,2 | 400,3 | 480,4 | 560,4 | 640,5 | 960,7 | 1280,9 | 1601,2 | 3202,3 | 4803,5 | 6404,7 | 8005,8 | 9607,0 | 11208,2 | 12809,3 | 320,23 | |
| 16" | 400 | 424,2 | 530,3 | 636,3 | 742,4 | 848,4 | 1272,6 | 1696,8 | 2121,0 | 4242,1 | 6363,1 | 8484,1 | 10605,2 | 12726,2 | 14847,3 | 16968,3 | 424,21 | |
| 18" | 450 | 543,8 | 679,7 | 815,6 | 951,6 | 1087,5 | 1631,3 | 2175,1 | 2718,8 | 5437,7 | 8156,5 | 10875,3 | 13594,1 | 16313,0 | 19031,8 | 21750,6 | 543,77 | |
| 20" | 500 | 675,9 | 844,9 | 1013,9 | 1182,9 | 1351,9 | 2027,8 | 2703,7 | 3379,7 | 6759,3 | 10139,0 | 13518,7 | 16898,4 | 20278,0 | 23657,7 | 27037,4 | 675,93 | |
| 24" | 600 | 986,0 | 1232,5 | 1479,1 | 1725,6 | 1972,1 | 2958,1 | 3944,1 | 4930,2 | 9860,3 | 14790,5 | 19720,7 | 24650,9 | 29581,0 | 34511,2 | 39441,4 | 986,03 | |
| 26" | 650 | 1163,0 | 1463,7 | 1744,5 | 2035,2 | 2325,9 | 3488,9 | 4651,9 | 5814,9 | 11629,7 | 17444,6 | 23259,5 | 29074,4 | 34889,2 | 40704,1 | 46519,0 | 1162,97 | |
| 28" | 700 | 1354,5 | 1693,1 | 2031,8 | 2370,4 | 2709,0 | 4063,5 | 5418,0 | 6772,5 | 13545,1 | 20317,6 | 27090,1 | 33862,7 | 40635,2 | 47407,7 | 54180,3 | 1354,51 | |
| 30" | 750 | 1560,6 | 1950,8 | 2341,0 | 2731,1 | 3121,3 | 4681,9 | 6242,5 | 7803,2 | 15606,3 | 23409,5 | 31212,7 | 39015,8 | 46819,0 | 54622,2 | 62425,3 | 1560,63 | |
| 32" | 800 | 1781,4 | 2226,7 | 2672,0 | 3117,4 | 3562,7 | 5344,1 | 7125,4 | 8906,8 | 17813,5 | 26720,3 | 35627,1 | 44533,8 | 53440,6 | 62347,3 | 71254,1 | 1781,35 | |
| 34" | 850 | 2016,7 | 2520,8 | 3025,0 | 3529,2 | 4033,3 | 6050,0 | 8066,7 | 10083,3 | 20166,7 | 30250,0 | 40333,3 | 50416,6 | 60500,0 | 70583,3 | 80666,6 | 2016,67 | |
| 36" | 900 | 2266,6 | 2833,2 | 3399,9 | 3966,5 | 4533,1 | 6799,7 | 9066,3 | 11332,9 | 22665,7 | 33998,6 | 45331,4 | 56664,3 | 67997,1 | 79330,0 | 90662,8 | 2266,57 | |

Fuente: COMEVAL VALVE SYSTEMS

8. Anexo: Datos de la evaluación económica

Tabla 11.12: Tarifa Chilquinta

| Tarifas Chilquinta | \$ | Unidad |
|---|-----------|----------|
| Cargo Fijo | 1.275,039 | (\$/mes) |
| Energía base | 145,233 | (\$/kWh) |
| Cargo fijo por uso del sistema troncal | 1,479 | (\$/kWh) |

*Fuente: Tarifas de Suministro Eléctrico, para la comuna de Valparaíso, Chilquinta.
Elaboración propia*

Tabla 11.13: Costos de producción

| Descripción | \$ mes (Año Escolar) | \$ mes (Vacaciones) |
|-----------------------------------|----------------------|---------------------|
| Costos de producción (Luz) | 18.972,308 | 10.056,58 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11.14: Costos de Mantención

| Descripción | \$ | Unidad |
|---------------------------|--------|------------|
| Costos de Mantención | | |
| Artículos de aseo | 5.500 | (\$/mes) |
| Ampolleta UV | 26.000 | (\$/año) |
| Material Filtrante | 24.000 | (\$/2años) |

Fuente: Elaboración Propia