

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DOMICILIARIO DE
REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES, DESTINADO AL RIEGO
SUBSUPERFICIAL DE UN JARDÍN Y LA RECARGA DE UN INODORO**

Trabajo de Titulación para optar al Título
Profesional de Ingeniero de Ejecución en
Mecánica de Procesos y Mantenimiento
Industrial

Alumno:

Emanuel Patricio González Lagos

Profesor Guía:

Ing. Alejandro Elías Badilla Bello

DEDICATORIA

«La tierra quiere nuestra seriedad, no nos permite escapar a un «trasmundo» de piadosa bienaventuranza, ni a la inmanencia de una utopía secular, sino que nos muestra al desnudo su finitud esclavizada. Su servidumbre es la nuestra, y con ella estamos sometidos».

Dietrich Bonhoeffer, “Dein Reich komme”.

A Dios, mis padres, hermano, novia e iglesia local.

RESUMEN

Keywords: REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES – LEY N° 21.075 – FILTRO LENTO DE ARENA – MODELADO TRIDIMENSIONAL.

En el presente trabajo de título se desarrolla la propuesta de diseño de un sistema domiciliario de reutilización de aguas grises, destinado al riego subsuperficial de un jardín y la recarga de un inodoro, en una vivienda comercial de 60 [m²] concebida para la ciudad de Copiapó, región de Atacama, Chile. Este proyecto se enmarca dentro de la reciente entrada en vigencia de normativas nacionales para la regulación de recolección, tratamiento y disposición de aguas grises, por lo que no solamente servirá de antecedente para futuras construcciones de mayor envergadura o similar funcionamiento, sino que también demostrará experimentalmente, si la actual legislación es o no económicamente viable a escala unifamiliar.

Para lo anterior, se abordará primeramente el contexto nacional ya mencionado, estableciendo algunas consideraciones iniciales y términos en común para enfrentar la normativa chilena, siguiendo con una selección de los principales artículos que según la Ley N° 21.075 y el Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, deben de ser aplicados a la propuesta de diseño.

En segunda instancia, se caracterizará el sistema de reutilización especificando su vivienda de implementación en base al estrato social, infraestructura básica y ubicación geográfica que posea; para luego identificar la cantidad y calidad de las aguas grises generadas por una ducha y un lavamanos, y demandadas por el jardín y un inodoro. De esta manera, culminará el segundo capítulo delimitando la configuración básica de cualquier proyecto de este tipo, reconociendo cuatro etapas fundamentales.

En tercer lugar, se diseñará completamente el sistema domiciliario de reutilización de aguas grises, ideando su configuración estructural a través de un esquema funcional y espacial; diseñando y/o seleccionando luego, los componentes mecánicos contemplados para su funcionamiento, según lo defina el cálculo de redes de flujo. De esta manera, sólo restará formular un sistema de control a medida, escogiendo sus componentes eléctricos conforme a los diagramas P&ID y eléctrico de control, generados. Todo lo anterior resultará en una batería de planos para su construcción y un modelo tridimensional renderizado adjunto en anexos, además de una guía simple de operación y mantenimiento alojada al final del tercer capítulo.

Finalmente, se evaluará económicamente la propuesta de diseño en base a un balance general contenido en un flujo de caja, comparando los costos derivados de la fabricación, instalación y mantenimiento del proyecto con los ingresos percibidos por concepto de ahorro en el consumo de agua potable. Luego, se escrutinizarán por medio de

herramientas de matemáticas financieras, una serie de alternativas de inversión; acabando su análisis a costa de consideraciones finales.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	3
RESUMEN.....	5
ÍNDICE	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
ÍNDICE DE TABLAS.....	13
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	15
ÍNDICE DE FÓRMULAS.....	17
INTRODUCCIÓN	19
OBJETIVO GENERAL	21
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
CAPÍTULO 1 NORMATIVA NACIONAL PERTINENTE	23
1.1. CONSIDERACIONES INICIALES	24
1.2. NORMATIVA CHILENA SOBRE REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES	24
1.2.1. Terminología.....	25
1.2.2. Ley N° 21.075.....	26
1.2.3. Reglamento sobre condiciones sanitarias básicas para la reutilización de aguas grises	28
CAPÍTULO 2 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA.....	37
2.1. VIVIENDA DE IMPLEMENTACIÓN	38
2.1.1. Estrato social	38
2.1.2. Infraestructura básica	38
2.1.3. Ubicación geográfica	40
2.2. AGUAS GRISES GENERADAS	41
2.2.1. Cantidad de aguas grises generadas	41
2.2.2. Calidad de aguas grises generadas	43
2.3. AGUAS GRISES DEMANDADAS	45
2.3.1. Cantidad de aguas grises demandadas por un jardín.....	45
2.3.2. Cantidad de aguas grises demandadas por el inodoro.....	48
2.4. CONFIGURACIÓN BÁSICA DE UN SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES	49
2.4.1. Recolección.....	49
2.4.2. Tratamiento	50
2.4.3. Almacenamiento	52
2.4.4. Distribución.....	52
CAPÍTULO 3 DISEÑO DEL SISTEMA.....	55
3.1. CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL	56
3.1.1. Esquema funcional	56
3.1.2. Distribución espacial.....	58
3.2. DIMENSIONAMIENTO	58

3.2.1.	Cálculo de redes de flujo.....	59
3.2.2.	Diseño de componentes mecánicos.....	60
3.2.3.	Selección de componentes mecánicos	64
3.3.	SISTEMA DE CONTROL.....	65
3.3.1.	Diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID).....	65
3.3.2.	Diagrama eléctrico de control	66
3.3.3.	Selección de componentes eléctricos	68
3.4.	GUÍA SIMPLE DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	69
3.4.1.	Operación	69
3.4.2.	Mantenimiento	70
CAPÍTULO 4	EVALUACIÓN FINANCIERA	73
4.1.	APRECIACIÓN DE INVERSIÓN E INGRESOS	74
4.1.1.	Costos de fabricación e instalación	74
4.1.2.	Costos de mantenimiento	76
4.1.3.	Ingresos por concepto de ahorro	76
4.1.4.	Flujo de caja	77
4.2.	ALTERNATIVAS DE INVERSIÓN.....	79
4.2.1.	Recursos particulares	79
4.2.2.	Préstamo de consumo.....	81
4.2.3.	Crédito comercial	82
4.3.	CONSIDERACIONES FINALES	83
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	86
	BIBLIOGRAFÍA.....	89
	ANEXOS	94
A:	FÓRMULA PARA LA DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN MENSUAL DE AGUAS GRISES GENERADAS POR EL USO DE UNA DUCHA, UN LAVAMANOS Y UNA LAVADORA	95
B:	FÓRMULA PARA LA DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN MENSUAL DE AGUAS GRISES TRATADAS DEMANDADO POR UN INODORO.....	96
C:	CALIDAD DE AGUAS GRISES SEGÚN DIVERSOS TIPOS DE TRATAMIENTO	97
D:	RENDERIZADO DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE LA PROPUESTA DE DISEÑO	98
E:	PLANOS DE CONJUNTO, SUBCONJUNTOS Y DESPIECES DE LA PROPUESTA DE DISEÑO	99
F:	INSTRUCTIVO PARA EL USO DEL COMPARADOR COLORIMÉTRICO “CLOR-DETECTOR”	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Conformado tridimensional de casa modelo	39
Figura 3-1. Esquema funcional del sistema	57
Figura 3-2. Distribución espacial simple del sistema.....	58
Figura 3-3. Esquema del flujo de aguas grises crudas y tratadas.....	59
Figura 3-4. Diagrama de tuberías e instrumentación del sistema	66
Figura 3-5. Diagrama eléctrico del sistema.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Calidad de aguas grises tratadas para usos urbanos.....	34
Tabla 1-2. Calidad de aguas grises tratadas para riego de áreas recreativas y de servicios	34
Tabla 1-3. Calidad de aguas grises tratadas para riego ornamental	34
Tabla 2-1. Zona hídrica y línea base según región.....	40
Tabla 2-2. Caudales por artefacto e intensidad de uso diario según perfil y género.....	43
Tabla 2-3. Caracterización de aguas grises por origen, según Holanda, Israel y Omán..	44
Tabla 2-4. Caracterización de agua grises por origen, según Alemania, China, USA, Japón y Australia.....	44
Tabla 2-5. Calidad de aguas grises provenientes de ducha, lavamanos y lavadora	45
Tabla 2-6. Resumen. Cantidad mensual de agua gris requerida para riego del jardín.....	48
Tabla 2-7. Resumen. Calidad de aguas grises de salida en sistemas de tratamiento físico y físico-químico	51
Tabla 2-8. Evaluación de sistema de tratamiento de agua gris para riego del jardín y recarga de un inodoro.....	51
Tabla 3-1. Red de flujo del sistema de reutilización	60
Tabla 3-2. Dimensiones generales de las unidades de almacenamiento	61
Tabla 3-3. Dimensiones generales del filtro lento de arena por cámara de depuración...	63
Tabla 3-4. Dimensiones generales del estanque de homogeneización	64
Tabla 3-5. Componentes mecánicos del sistema de reutilización.....	65
Tabla 3-6. Tablas de verdad por operaciones automáticas	67
Tabla 3-7. Componentes eléctricos del sistema de reutilización	68
Tabla 3-8. Guía simple de operación	70
Tabla 3-9. Guía simple de mantenimiento	71
Tabla 4-1. Cotización. Materiales y artículos para la fabricación e instalación del proyecto.....	75
Tabla 4-2. Cotización. Recursos humanos para la fabricación e instalación del proyecto	76
Tabla 4-3. Cotización. Materiales y artículos para el mantenimiento del proyecto.....	76
Tabla 4-4. Ingresos mensuales por concepto de ahorro en el consumo de agua potable.	77
Tabla 4-5. Flujo de caja proyectado a quince años	78
Tabla 4-6. Recursos particulares. Valor actual neto para recursos particulares.....	80
Tabla 4-7. Préstamo de consumo. Valor actual neto para préstamo de consumo	81
Tabla 4-8. Crédito comercial. Valor actual neto para crédito comercial	82

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4-1. Recursos particulares. Valores actualizados según periodo anual	80
Gráfico 4-2. Préstamo de consumo. Valores actualizados según periodo anual.....	82
Gráfico 4-3. Crédito comercial. Valores actualizados según periodo anual	83

ÍNDICE DE FÓRMULAS

Fórmula 2-1. Volumen mensual de aguas grises generadas 42

Fórmula 2-2. Consumo anual de aguas grises tratadas según especie 46

Fórmula 2-3. Necesidad final de aguas grises tratadas según especie 46

Fórmula 2-4. Superficie efectiva ocupada por especie 47

Fórmula 2-5. Consumo mensual de aguas grises tratadas por riego del jardín.....47

Fórmula 2-6. Volumen mensual de aguas grises tratadas demandado por el inodoro 48

Fórmula 3-1. Área superficial mínima de filtrado 62

Fórmula 4-1. Adaptación. Cálculo de valor actual neto.....79

INTRODUCCIÓN

Durante el siglo XX, la demanda mundial de agua potable ha aumentado de 600 [Km³] a más de 5.200 [Km³] anuales, debido –sobre todo– al aumento exponencial del consumo per cápita, el que se ha elevado de 350 [m³] a 900 [m³] anuales (Guevara, 2014). A esto se suma la proyección de que para el año 2050 la población mundial crezca de 7.000.000.000 a más de 9.000.000.000 de personas (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, 2012), logrando que la economía se cuadruplique, y con ello aumente críticamente el consumo de energía y recursos naturales. Es decir, en palabras de Shiklomanov (como se citó en Embid, 2010): “en ese mismo momento y sin tener en cuenta ningún otro tipo de factor, se habrá alcanzado el umbral mismo de la sostenibilidad (...) de la especie humana”.

Bajo esa urgencia, es que la reutilización de aguas grises ha emergido como una alternativa eficaz para el alivio del estrés hídrico mundial, pues propone una administración mucho más eficiente del recurso, tratando física, química y/o biológicamente el caudal de agua residual con bajo contenido orgánico generado por el uso de aparatos domésticos (tinajas, duchas, lavamanos, lavavajillas, lavadoras de ropa, etc.), para destinarlo a una amplia gama de servicios en reemplazo del agua potable.

Entre los beneficios que supone la implementación de este tipo de sistemas, destaca la reducción de consumo de recursos naturales, la disminución de los costos en tratamiento y disposición final de aguas residuales, el aminoramiento del aporte de contaminantes a los cursos naturales de agua (Suárez, Jácome, Río, Torres, & Ures, 2012), el mejoramiento de la economía comunal, e incluso el empoderamiento de algunos agentes sociales (Allen, Christian-Smith, & Palaniappan, 2010). Sin embargo, a pesar de los numerosos favores que presenta la reutilización de aguas grises, lo contemporáneo de su discusión ha generado disparidad en su desarrollo a nivel mundial, contando entre los países que han regulado su tratamiento a Alemania en 1995 (Nolde, 2005), Estados Unidos en 2001 (Suárez, Jácome, Río, Torres, & Ures, 2012), Australia en 2006 (Power, 2010), y España también en 2006 (Ahumada & Rojas, 2017).

En cuanto a Chile, la normativa disponible es aún más reciente (Ley N°21.075, 2018), por lo que actualmente la competencia en este rubro se mantiene débil, comercializando sistemas modulares que no cumplen la normativa nacional o que cuya conformación estructural limita la reutilización de aguas grises a sólo un servicio.

Revisando todo lo anterior, es entonces que la presente propuesta de diseño surge como única en su tipo, pues modela un sistema de reutilización plenamente legal, capaz de recolectar, tratar, almacenar y distribuir las aguas grises generadas por una ducha y un lavamanos, hacia el riego subsuperficial del jardín y la recarga de un inodoro en una vivienda comercial de 60 [m²] habitada por tres personas.

OBJETIVO GENERAL

Generar un sistema domiciliario de reutilización de aguas grises, mediante modelado tridimensional, para la determinación de la viabilidad económica de proyectos unifamiliares bajo la normativa nacional vigente.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Reconocer los estándares nacionales sobre reutilización de aguas grises domiciliarias, por medio de normativas del Ministerio de Obras Públicas y el Ministerio de Salud del Gobierno de Chile, para la identificación del marco regulatorio de la propuesta de diseño.

Realizar ingeniería básica del sistema de reutilización de aguas grises, mediante revisión del estado del arte, para la identificación de las condiciones de operación en las que se desempeñará la propuesta de diseño.

Diseñar un sistema domiciliario de reutilización de aguas grises, mediante modelado 3D en Autodesk Inventor, para el dimensionamiento funcional del proyecto.

Evaluar financieramente la propuesta de diseño, a través de cálculos básicos de rentabilidad, para la determinación de la viabilidad económica del proyecto.

CAPÍTULO 1 NORMATIVA NACIONAL PERTINENTE

1.1. CONSIDERACIONES INICIALES

En Chile, el 15 de febrero del 2018 entró en vigencia la actual ley que regula la recolección, reutilización y disposición de aguas grises en suelo nacional: ley N° 21.075. Siendo además, acompañada por la publicación oficial del “Proyecto de Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises”; documento encargado de guiar la aplicación de estas regulaciones en proyectos industriales y domiciliarios individuales o colectivos. Lamentablemente, no bastó mucho tiempo para descubrir una serie de asuntos que no son clarificados por la normativa chilena respecto al reúso de aguas grises, volviendo necesario recurrir a documentos externos de validación para suplir los vacíos presentados por ella.

Los documentos asistenciales para la presente propuesta de diseño, serán – principalmente– las normas BS 8525-1:2010 Y BS 8525-2:2011 de la Institución de Estándares Británicos (BSI), organización que desde junio del 2010 cuenta con cláusulas referentes a la reutilización segura de aguas grises, la “Guía para Diseño de Sistemas de Tratamiento de Filtración en Múltiples Etapas” de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), y también el tercer tomo de la serie de “Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas de Chile”, que a pesar de haber sido publicado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo del Gobierno de Chile, no es citado directamente en la ley N° 21.075, aun cuando su tomo tres establece las regulaciones constructivas que deben cumplir los sistemas de reutilización de aguas en territorio nacional.

En perjuicio de lo anterior, y en favor de la legalidad que envuelve la propuesta de diseño, es que los documentos de asistencia antes mencionados no se incluirán en el desarrollo de este primer capítulo, sino que se citarán en los subsiguientes, en referencia a puntos exclusivos de diseño, donde la normativa nacional no es detallada y sólo entrega supervisión.

1.2. NORMATIVA CHILENA SOBRE REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES

Para la identificación del marco regulatorio que regirá la propuesta de diseño, es primario reconocer que su implementación se proyecta en territorio chileno, por lo que los estándares de reutilización segura de aguas grises que se deben satisfacer, son los nacionales. En favor de ello, es que a continuación se desenvuelven tres secciones de estudio: la primera, dedicada a la unificación de la reglamentación chilena, mediante una terminología compartida por todos los documentos legales al respecto; y las dos últimas,

concernientes al postulado oficial del Gobierno de Chile, en referencia a la normativa vigente para la aprobación legal de sistemas de reutilización domiciliarios de aguas grises.

1.2.1. Terminología

Ciertamente, los estándares nacionales de reutilización de aguas grises poseen diferencias importantes sobre el contenido que abordan; sin embargo, es posible reconocer una lista de términos en común, que facilitan su comprensión y favorecen un desarrollo integral de los proyectos que serán contractados por ellos. De esta manera, la terminología compartida será la que sigue:

- *Aguas grises:* aguas servidas provenientes de las tinajas, duchas, lavamanos, lavaplatos, máquinas lavavajillas y lavadoras de ropa. Se excluyen las aguas negras (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 5).
- *Aguas negras:* aguas servidas provenientes de inodoros y urinarios, que contienen materia fecal y/u orina (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 5).
- *Aguas grises tratadas:* aquellas que se han sometido a los procesos de tratamiento requeridos para el uso previsto (Ley N° 21.075, 2018, Art. 2).
- *Aguas residuales:* aquellas que se descargan después de haber sido utilizadas en un proceso o producidas por este, y que no tienen ningún valor inmediato para dicho proceso (Ley N° 21.075, 2018, Art. 2).
- *Sistema de reutilización de aguas grises:* conjunto de instalaciones destinadas a la recolección, tratamiento, almacenamiento y conducción de las aguas grises para su uso en la alternativa de reutilización que se proyecte. Incluye además, instalaciones para el uso del efluente tratado, el cual debe cumplir con la calidad para el uso previsto definida en la reglamentación (Ley N° 21.075, 2018, Art. 2).
- *Sistemas de reutilización de aguas grises domiciliarios:* aquellos en que se aprovechan estas aguas al interior del inmueble en que se producen y tratan, para los fines que se autorizan (Ley N° 21.075, 2018, Art. 2).
- *Sistemas de reutilización de aguas grises domiciliarios colectivos:* aquellos en que se aprovechan estas aguas que se producen y tratan al interior de un edificio o conjunto de edificaciones que conforman un condominio o comunidad (Ley N° 21.075, 2018, Art. 2).
- *Autoridad Sanitaria:* Secretaría Regional Ministerial (Seremi) de Salud (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 5).

- *Vivienda individual*: construcción de uso habitacional destinada a la residencia de una familia para la que se construirá un sistema de reutilización de aguas grises (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 5).
- *Riego subsuperficial*: aplicación del agua al cultivo por debajo de la superficie del terreno, lo más cercano a la zona radicular de las plantas (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 5).
- *Riego superficial*: aplicación del agua a la superficie del terreno en el que se encuentra el cultivo objeto del riego, por gravedad (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 5).

1.2.2. Ley N° 21.075

Promulgada por el Ministerio de Obras Públicas del Gobierno de Chile, y vigente desde febrero del 2018, la ley N° 21.075 establece y regula los sistemas de reutilización de aguas grises chilenos, ubicados geográficamente en áreas rurales y urbanas, con implicaciones tanto para la industria, como para domicilios particulares y colectivos. De esta manera, aunque se regula un universo mayor de proyectos de reutilización, a continuación se destacan las regulaciones que deberán cumplir los sistemas domiciliarios:

➤ Los sistemas de reutilización de aguas grises deberán contar con aprobación de proyecto y autorización de funcionamiento de la autoridad sanitaria regional respectiva.

En ese sentido, toda solicitud de aprobación deberá contener –a lo menos– los siguientes antecedentes:

- 1) La identificación del petionario.
- 2) La individualización precisa del lugar, área o áreas donde tendrá lugar la reutilización.
- 3) El nombre o identificación del operador.
- 4) La indicación clara y precisa de los fines que se dará a las aguas grises tratadas.
- 5) El sistema de tratamiento a emplear.
- 6) La acreditación del hecho de contar con conexión a la red pública de alcantarillado, cuando este exista, o con un sistema particular de aguas servidas, sea este individual o colectivo (Ley N° 21.075, 2018, Art. 3).

➤ Las aguas grises deberán conducirse independientemente de las aguas negras, para su posterior tratamiento y reutilización.

Las aguas grises podrán ser tratadas y reutilizadas dentro de la vivienda, establecimiento o inmueble del aportante o, alternativamente, ser descargadas a la red de recolección de un sistema domiciliario colectivo o de un sistema de interés público.

El sistema de reutilización de aguas grises debe mantener operativa una conexión a un servicio público de recolección de aguas servidas o un sistema particular de aguas servidas para permitir su evacuación en caso de falla, emergencia u otra situación en que no se requiera para su reutilización (Ley N° 21.075, 2018, Art. 7).

➤ El reglamento establecerá el destino que podrá darse a las aguas grises tratadas, los que podrán ser:

- 1) *Urbanos*: en esta categoría se incluyen el riego de jardines o descarga de aparatos sanitarios.
- 2) *Recreativos*: esta categoría incluye el riego de áreas verdes públicas, campos deportivos u otros con libre acceso al público.
- 3) *Ornamentales*: en esta categoría se incluyen las áreas verdes y jardines ornamentales sin acceso al público.
- 4) *Industriales*: incluye el uso en todo tipo de procesos industriales no destinados a productos alimenticios y fines de refrigeración no evaporativos.
- 5) *Ambientales*: incluye el riego de especies reforestadas, la mantención de humedales y todo otro uso que contribuya a la conservación y sustentabilidad ambiental (Ley N° 21.075, 2018, Art. 8).

➤ Se prohíbe la reutilización de aguas grises tratadas para los siguientes usos:

- 1) Consumo humano y en general servicios de provisión de agua potable, así como riego de frutas y hortalizas que crecen a ras de suelo y suelen ser consumidas crudas por las personas, o que sirvan de alimento a animales que pueden transmitir afecciones a la salud humana.
- 2) Procesos productivos de la industria alimenticia.
- 3) Uso en establecimientos de salud en general.
- 4) Cultivo acuícola de moluscos filtradores.
- 5) Uso en piletas, piscinas y balnearios.
- 6) Uso en torres de refrigeración y condensadores evaporativos.
- 7) Uso en fuentes o piletas ornamentales en que exista riesgo de contacto del agua con las personas.
- 8) Cualquier otro uso que la autoridad sanitaria considere riesgoso para la salud (Ley N° 21.075, 2018, Art. 9).

➤ El reglamento establecerá los requisitos que deberá cumplir el sistema de reutilización de aguas grises para cada uso autorizado, así como las calidades específicas del efluente tratado y las exigencias de control de su funcionamiento.

El agua gris tratada que se destine a varios usos autorizados deberá cumplir los requisitos para el uso más exigente de estos (Ley N° 21.075, 2018, Art. 10).

De esta manera, la ley N° 21.075 establece el marco más general de regulación, trabajando en comunión al Ministerio de Salud, Ministerio de Obras Públicas y Ministerio de Vivienda y Urbanismo, en pos de garantizar un proyecto integral de reutilización de tratamiento de aguas grises. Por tanto, será preciso recurrir extraordinariamente a algún otro documento oficial promulgado por alguno de estos ministerios durante el desarrollo del presente, con el fin de evaluar el diseño legal de la propuesta en conformidad a la Constitución chilena.

1.2.3. Reglamento sobre condiciones sanitarias básicas para la reutilización de aguas grises

Siendo un documento emitido por el Ministerio de Salud, por medio de la Subsecretaría de Salud Pública, la División de Políticas Públicas Saludables y el Departamento de Salud Ambiental del Gobierno de Chile, es que el citado reglamento establece las delimitaciones que deberán cumplir los sistemas de reutilización de aguas grises para cada uso autorizado, así también como las calidades específicas del efluente tratado y las exigencias de control de su funcionamiento.

En perjuicio de lo anterior, se seleccionan los siguientes artículos por su aplicabilidad a la propuesta de diseño, refiriéndose a instalaciones domiciliarias:

➤ Para los efectos de este reglamento la reutilización de aguas grises deberá realizarse dentro de los deslindes de la propiedad en que se generan, ya sea que esta sea de carácter público o privado, y que se conformen sistemas individuales o colectivos (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 3).

➤ Será responsabilidad del propietario o poseedor o mero tenedor de la vivienda o de la instalación en la que se proyecte un sistema de reutilización de aguas grises, según corresponda, cumplir con las disposiciones señaladas en el presente Reglamento (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 4).

➤ Para los efectos de la aplicación de este reglamento, los sistemas de reutilización de aguas grises deberán considerar la reutilización sólo de las aguas grises generadas en lavamanos, duchas, tinas y lavadoras de ropa, excluyendo las aguas grises generadas en lavaplatos y máquinas lavavajillas (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 6).

➤ Todo sistema de reutilización de aguas grises deberá contar con un proyecto aprobado por la Secretaría Regional Ministerial (Seremi) de Salud, el que deberá ser elaborado por un profesional del área de la ingeniería, en cuyo ámbito de competencias se incluya el tratamiento de aguas (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 7).

➤ El proyecto del sistema de reutilización de aguas grises deberá contener al menos lo siguiente:

- a) Memoria técnica y planos del proyecto que describan el diseño del sistema, esto es, la recolección y el tratamiento de las aguas grises crudas, y la conducción y reutilización de las aguas grises tratadas, además de la forma en que se dará cumplimiento a las especificaciones de este reglamento. Se deben incluir también la calidad del agua cruda, la que deberá ser verificada al momento de tramitar la autorización de funcionamiento del sistema, las bases de cálculo y criterios de diseño del sistema que justifiquen técnicamente su dimensionamiento.
- b) Cálculo del volumen de aguas grises generado por el sistema de reutilización en un determinado periodo de tiempo y del volumen de agua requerido en el mismo periodo de tiempo, según sea el uso previsto.
- c) Manual de operación del sistema conforme a lo que establece el artículo 24° de este reglamento.
- d) Definición de los parámetros de control del sistema de tratamiento que permitan verificar su adecuado funcionamiento.
- e) Copia del título profesional del responsable del diseño del sistema de reutilización de aguas grises, que acredite su competencia técnica.
- f) Contenidos de la capacitación de los operadores del sistema e identificación del relator, a objeto de cumplir con las exigencias del Art. 25 de este reglamento.

Para el caso de proyectos de reutilización de aguas grises de viviendas individuales, el proyecto deberá contener lo señalado en los literales a); b); c); d) y e) de este artículo (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 8).

➤ Todo sistema de reutilización de aguas grises deberá garantizar a través de su diseño, construcción y operación que se minimizará la exposición de la población a dichas aguas durante su conducción, tratamiento, almacenamiento y reutilización. Así mismo, el

diseño y operación deberá contemplar las medidas necesarias para evitar emanación de olores molestos y escurrimientos no controlados (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 10).

➤ El proyecto del sistema de reutilización de aguas grises deberá contemplar descargas de aguas grises con y sin tratamiento a la red de alcantarillado domiciliaria, ya sea que este a su vez descargue a la red pública o a un sistema de alcantarillado particular, para estos efectos se deberán incluir los dispositivos necesarios para desviar las aguas grises hacia la red de alcantarillado. Estas descargas servirán para evacuar el sistema en las siguientes situaciones:

- a) Para realizar las labores de limpieza de las unidades de la planta de tratamiento o de los estanques de almacenamiento.
- b) En caso de generación de aguas grises por sobre el volumen requerido para el uso previsto.
- c) En caso de la ocurrencia de eventos que puedan afectar la calidad de las aguas tratadas u otras contingencias que imposibiliten el tratamiento o su reutilización en la forma prevista
- d) En caso que se supere el tiempo máximo de almacenamiento de las aguas grises tratadas.
- e) En caso de interrupciones en la operación de la planta de tratamiento por períodos prolongados, que obligue a evacuar el sistema para evitar la generación de focos de insalubridad por acumulación de aguas grises.
- f) En caso que no sea necesario su uso en riego, cuando este sea el uso previsto.
- g) En otros casos debidamente justificados (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 11).

➤ Las descargas a la red de alcantarillado deberán ser de preferencia gravitacionales. En caso que, por características de la construcción estas sean por impulsión, el sistema deberá estar conectado a un equipo de generación eléctrica auxiliar para garantizar su funcionamiento permanente (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 12).

➤ El sistema de reutilización de aguas grises deberá ser totalmente independiente del sistema de agua potable, cualquiera sea su tipo, para evitar su contaminación y el deterioro de la calidad del agua potable.

De igual forma el sistema de reutilización de aguas grises deberá ser independiente del sistema de recolección de aguas lluvias (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 14).

➤ Las tuberías de aguas grises crudas y tratadas deberán ser de color morado, para diferenciarlas de las tuberías de agua potable, de aguas negras y de los demás sistemas de tuberías (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 15).

➤ En atravesos y paralelismos de tuberías de agua potable y de aguas grises con y sin tratamiento, las cañerías de aguas grises deberán instalarse siempre bajo las tuberías de distribución de agua potable.

Así mismo, en atravesos y paralelismos de tuberías de aguas negras y de aguas grises con y sin tratamiento, las cañerías de aguas grises deberán instalarse siempre sobre las tuberías de aguas negras (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 16).

➤ La planta de tratamiento de aguas grises podrá contemplar entre sus unidades un estanque de homogeneización, para amortiguar las variaciones de caudal y concentración que se producen en las aguas grises generadas durante el período de 24 horas. Dicho estanque deberá estar ubicado en el lugar de emplazamiento de la planta de tratamiento de aguas grises y para los efectos de este reglamento, no será considerado estanque de almacenamiento si no que parte de las unidades de tratamiento.

En ningún caso deberán almacenarse aguas grises sin tratamiento (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 17).

➤ La planta de tratamiento de aguas grises y los estanques de almacenamiento de aguas tratadas deberán estar provistos de dispositivos de protección, tales como rejas, barreras, casetas, mallas u otros, para evitar el contacto de personas ajenas a la operación del sistema con la planta de tratamiento y con las aguas grises con y sin tratamiento. Así mismo, estos dispositivos de protección deberán evitar el contacto de los animales con las aguas grises con y sin tratamiento (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 18).

➤ Las válvulas de suministro de aguas grises tratadas de los sistemas de riego, deberán ubicarse en casetas cerradas con llave, para impedir el libre acceso de las personas ajenas a su operación (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 19).

➤ Los estanques de almacenamiento de aguas grises tratadas deberán cumplir con las siguientes condiciones, además de aquellas señaladas en el artículo 18 de este reglamento:

- a) Capacidad adecuada para mantener los volúmenes de agua requeridos para el correcto funcionamiento del sistema de reúso proyectado.
 - b) Contar con tapa que permita el cierre del estanque y evite el ingreso de insectos y roedores.
 - c) Estar provistos de ducto de ventilación protegido para evitar el ingreso de vectores como insectos y roedores. En caso de estanques ubicados al interior de una edificación, el ducto de ventilación deberá evacuar los gases hacia el exterior y deberá proyectarse por sobre el nivel de la edificación, sobresaliente en 60 [cm].
 - d) Contar con un rebosadero y desagüe de fondo conectados a la red de alcantarillado, para evitar rebases de aguas grises tratadas desde los estanques.
 - e) Contar con suministro de agua potable para realizar las labores de limpieza de los estanques de almacenamiento.
 - f) Todo estanque de almacenamiento de aguas grises tratadas de establecimientos que reutilicen las aguas grises en la recarga de inodoros y/o urinarios, en caso de una disminución en la generación de aguas grises, deberán contar con sistema que permita el llenado de estos con agua potable, para asegurar el volumen requerido para el uso previsto. El llenado de los estanques con agua potable siempre deberá realizarse por sobre el nivel de rebase de este, para evitar la contaminación del agua potable con aguas grises (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 21).
- Para la reutilización de aguas grises en riego subsuperficial, el diseño del sistema de riego deberá contemplar una profundidad mínima de inyección del agua de 15 [cm], medido desde la superficie del terreno, profundidad que deberá mantenerse en el tiempo. Además, deberá determinarse la demanda de agua de riego tal que no se generen en la superficie de riego inundaciones ni escurrimientos fuera de los deslindes del área regada (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 22).
- Las aguas grises tratadas no deberán almacenarse por períodos de tiempo superiores a las 48 [hrs] (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 23).
- Todo sistema de reutilización de aguas grises deberá contar con un Manual de Operación que deberá ser implementado por el operador para asegurar su adecuado funcionamiento, el que deberá contemplar al menos los siguientes aspectos para el caso de proyectos de viviendas individuales:
- a) Procedimiento que describa las operaciones que debe llevar a cabo el propietario para el buen funcionamiento del sistema de aguas grises, que incluya: operación

normal (recolección, tratamiento y reúso), limpieza del sistema y descarga de aguas grises al alcantarillado.

- b) Procedimientos para la mantención preventiva del sistema, a objeto de prevenir problemas en el tratamiento de las aguas grises, filtración de tuberías, olores molestos, presencia de vectores, otros (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 24).

➤ Los estanques de almacenamiento de aguas grises tratadas, deberán ser limpiados al menos una vez al año, procurando eliminar toda el agua almacenada, residuos y adherencias.

Adicionalmente se deberán limpiar los estanques de almacenamiento de aguas grises tratadas en caso que se vea deteriorada la calidad del agua depurada. De la misma forma se deberá eliminar toda el agua almacenada, residuos y adherencias (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 26).

➤ En la operación de los sistemas de riego con aguas grises tratadas, deberá evitarse la sobresaturación del terreno, así como también el estancamiento de estas en la superficie y su escurrimiento fuera del área regada.

En ningún caso el volumen diario de agua aplicada al suelo para el riego, podrá superar la capacidad de infiltración del terreno, para lo que se deberá considerar además, la superficie de riego y el tiempo de duración de la faena (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 28).

➤ En caso que la operación de la planta de tratamiento sea interrumpida por períodos de tiempo superiores a 48 [hrs], se deberá proceder a la evacuación de las aguas grises acumuladas en las distintas unidades de la planta de tratamiento (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 29).

➤ Los lodos que se generen en el tratamiento de las aguas grises, deberán eliminarse a través de la red de alcantarillado de la instalación, a menos que por la cantidad y tipo de lodos generados, deban manejarse como residuos sólidos, cuestión que será evaluada por la autoridad sanitaria durante la tramitación de la aprobación de proyecto y la autorización de funcionamiento (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 30).

➤ No podrán utilizarse aguas grises en el riego de cultivos vegetales y frutos que crezcan a ras de suelo y que suelen consumirse crudos, ni para la producción de agua

potable de consumo humano (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 32).

- Para la reutilización de aguas grises en el riego de jardines de viviendas individuales, se deberán considerar sólo las aguas grises generadas en lavamanos, tinas y duchas (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 34).
- En las tablas siguientes se define la calidad de las aguas grises tratadas para cada uno de los usos definidos en el Art. 31 de este reglamento (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 35).

Tabla 1-1. Calidad de aguas grises tratadas para usos urbanos

Parámetro	Unidad	Límite máximo
DBO ₅	mg/l	10
SST	mg/l	10
CF	UFC/100 ml	10
Turbiedad	UNT	5
Cloro libre residual	mg/l	0,5 ≤ X ≤ 2

Fuente: Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018.

Tabla 1-2. Calidad de aguas grises tratadas para riego de áreas recreativas y de servicios

Parámetro	Unidad	Límite máximo	
		Riego superficial	Riego subsuperficial
DBO ₅	mg/l	30	240
SST	mg/l	30	140
CF	UFC/100 ml	200	1000
Cloro libre residual	mg/l	0,5 ≤ X < 2	----
Turbiedad	UNT	10	----

Fuente: Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018.

Tabla 1-3. Calidad de aguas grises tratadas para riego ornamental

Parámetro	Unidad	Límite máximo
DBO ₅	mg/l	70
SST	mg/l	70
CF	UFC/100 ml	1000
Turbiedad	UNT	30

Fuente: Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018.

- En las labores de riego en general, en ningún caso podrá utilizarse riego por aspersión ni difusores, u otro sistema que pueda producir aerosoles del agua gris tratada o

dispersión aérea del agua de riego (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 40).

➤ Las mediciones de cloro libre residual en viviendas individuales que proyecten reutilización de aguas grises, deberán realizarse con una frecuencia semanal. Las demás instalaciones que de acuerdo al uso proyectado de aguas grises deban controlar cloro libre residual en el efluente, deberán realizar mediciones diarias y mantener registro ordenado del seguimiento realizado, el que deberá estar disponible para los organismos fiscalizadores cuando lo requieran (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 43).

➤ El muestreo y análisis de las muestras de los monitoreos de autocontrol deberán ser realizados por laboratorios de ensayo acreditados en el Sistema Nacional de Acreditación del Instituto Nacional de Normalización (INN), según la norma chilena oficial NCh-ISO 17025 Of 2005: “Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración”, o la que la reemplace.

Los análisis de las muestras de los monitoreos de autocontrol deberán realizarse según las metodologías definidas en la serie de normas chilenas oficiales NCh 2313: “Aguas Residuales – Métodos de Análisis”, según corresponda, y en la última versión de los “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” para los parámetros de turbiedad y cloro libre residual (Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 44).

CAPÍTULO 2 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA

2.1. VIVIENDA DE IMPLEMENTACIÓN

El dimensionamiento de un sistema de reutilización depende fundamentalmente de su lugar de implementación, pues este determinará aspectos tan cruciales como lo son el presupuesto de aguas grises crudas y tratadas, generadas y demandadas, respectivamente. Por tanto, en búsqueda de aquellos antecedentes, este primer apartado se dedicará a la caracterización del domicilio que acogerá la propuesta de diseño, abarcando desde el segmento socio-económico que registra, hasta las condiciones geográficas que resiste.

2.1.1. Estrato social

En base a un estudio realizado por el Centro de Datos de Libertad y Desarrollo, encabezado por Rodrigo Troncoso, su director, donde se elaboró una serie estadística referente a la encuesta Casen del año 2015 (La Tercera, 2017), es que la presente propuesta de diseño será dirigida al cuarto quintil de la población chilena.

Lo anterior se justifica primeramente por el capital base que exhibe el cuarto quintil, el que proyectado a inicios del 2020 establece un rango de ingreso económico per cápita de \$193.105 a \$352.743 (Quieromibeca.com, 2020). Esto aumenta la posibilidad de adquirir una vivienda propia en aquel estrato, y provee expectativas de inversión respecto a la compra adicional de sistemas de reutilización de aguas residuales.

En segundo lugar, según el análisis a la encuesta Casen del año 2015 realizado por Troncoso, un hogar chileno cuenta con cuatro integrantes en promedio, cantidad que disminuye a medida que se aumentan los ingresos, y por tanto, se escala en los quintiles (La Tercera, 2017).

Entonces, en vista de todo lo mencionado, el segmento objetivo al que apunta la propuesta de diseño serán hogares ubicados en el cuarto quintil más acomodado de la población nacional, con tres integrantes que compongan el núcleo familiar; sugerentemente, un matrimonio y un hijo.

2.1.2. Infraestructura básica

En cuanto a la infraestructura básica de una vivienda particular donde sea posible cumplir las condiciones ya mencionados, es oportuno revisar la oferta nacional de empresas constructoras, priorizando aquellas que compartan mayor cantidad de información respecto a los temas de interés para el diseño. Tal es el caso de Neredo Constructora, quien servirá de potencial beneficiario del proyecto, pues ha proporcionado

las dimensiones básicas de una de sus viviendas modelo: 60 [m²] de superficie que se reparten en un dormitorio principal, un dormitorio adicional, un living, un comedor, una cocina, un pequeño hall y un baño; cumpliendo así con las exigencias habitacionales del segmento objetivo en cuestión.

Además, el valor total del servicio ofrecido es coherente con el poder adquisitivo del cuarto quintil chileno, pues el costo final de la tramitación legal y la construcción completa de la vivienda, es de 1.200 [UF] sin considerar la adquisición del terreno.

De esta manera, en base a los planos bidimensionales suministrados por la empresa constructora, es que se genera el modelado tridimensional de la Figura 2-1, considerando un terreno rectangular de 13 [m] de largo por 13 [m] de ancho, y sirviendo como antecedente para el posterior dimensionamiento e inserción del sistema domiciliario de reutilización de aguas grises que se modelará también tridimensionalmente.

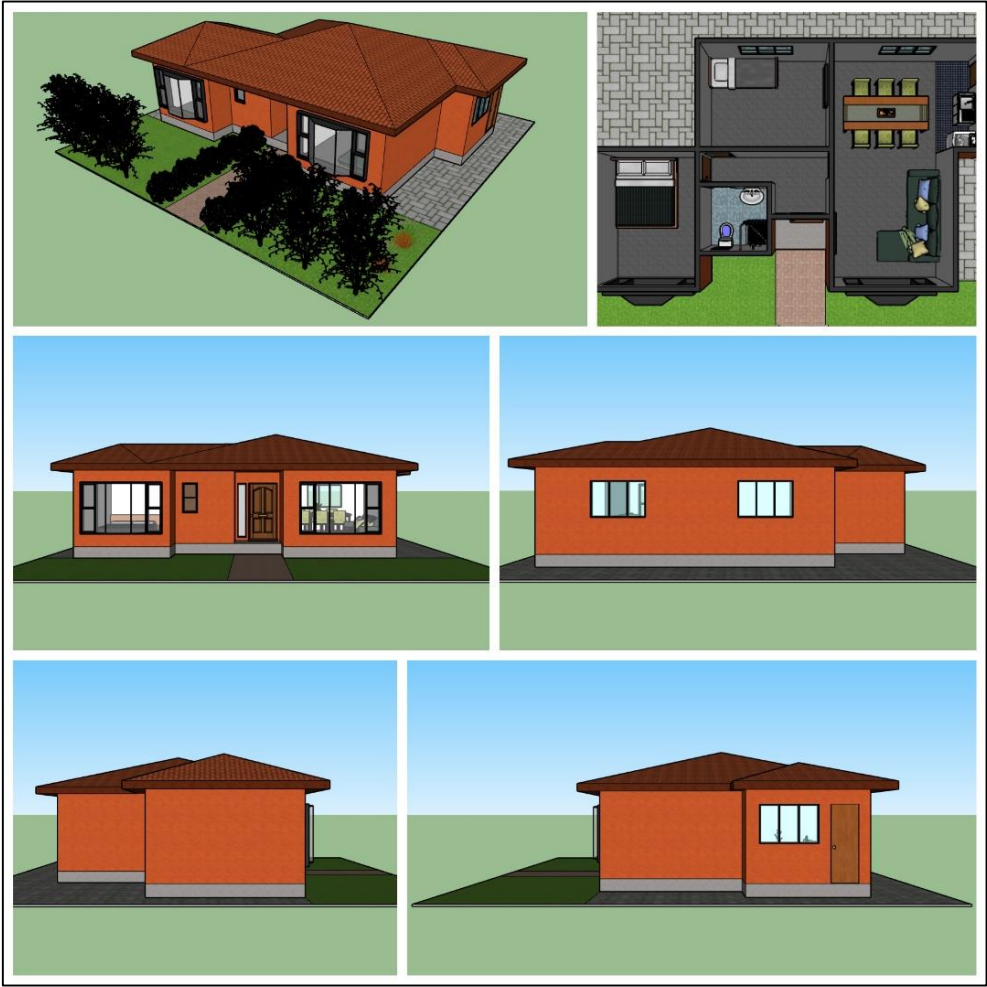


Figura 2-1. Conformado tridimensional de casa modelo

Fuente: Modelado 3D en SketchUp (vers. 2020) para los Planos de Vivienda Americana de 60 [m²] de Neredo Constructora, 2020.

2.1.3. Ubicación geográfica

Un sistema domiciliario de reutilización de aguas grises proveerá mayores beneficios en ubicaciones geográficas que cuenten con un sostenido estrés hídrico, por lo que identificar una región del país que posea dicha condición se vuelve pertinente para la caracterización del potencial cliente que contrate la propuesta de diseño. Con ese fin, se considerarán los siguientes criterios de clasificación publicados por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo del Gobierno de Chile, donde se establece una relación entre oferta y demanda de agua potable para la determinación del estrés hídrico:

- *Zona estrés hídrico extremo (EHE):* regiones que presentan una mayor demanda de agua que la disponible en la oferta (sobre un 80%).
- *Zona estrés hídrico (EH):* regiones que presentan una mayor demanda de agua que la disponible en la oferta (menor a un 80%).
- *Zona disponibilidad (DH):* regiones que presentan una mayor oferta de agua respecto de su demanda (menor a un 50%).
- *Zona superávit hídrico (SH):* regiones que presentan una mayor oferta de agua respecto de su demanda (mayor a un 50%) (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2018).

De esta manera, según la misma fuente, para cada región de Chile se presenta en la Tabla 2-1 el balance hídrico en base al consumo mínimo de agua potable.

Tabla 2-1. Zona hídrica y línea base según región

REGIÓN	ZONA HÍDRICA	LÍNEA BASE DE CONSUMO L/HAB/DÍA
Arica y Parinacota	EH	118
Tarapacá	EH	118
Antofagasta	EHE	121
Atacama	EHE	123
Coquimbo	EH	123
Valparaíso	EH	140
Metropolitana	EH	264
Libertador Gral. Bernardo O’Higgins	DH	117
Maule	DH	119
Biobío	DH	117
La Araucanía	DH	128
Los Ríos	SH	112
Los Lagos	SH	101
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	SH	95
Magallanes y de la Antártica Chilena	SH	131

Fuente: Tomo III de los Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas de Chile, 2018.

Por lo tanto, debido a que registra la mayor demanda de agua potable en zonas de estrés hídrico extremo con 123 [L/habitación/día], es que la región de Atacama será la ubicación geográfica seleccionada para la implementación del sistema de reutilización de aguas grises a diseñar; específicamente su capital regional: Copiapó.

2.2. AGUAS GRISES GENERADAS

En viviendas unifamiliares como la ideada, se supone un consumo total de agua potable distribuido en tres ítems: el primero, corresponde al consumo bebestible con un 2%; el segundo, al uso de la cocina con un 35%; y el último, con el 63% restante, se debe al conjunto de baños y servicios de limpieza (GBCe, 2015). Es decir, que al menos la mitad del agua potable consumida por un domicilio particular en Chile, se convierte posterior a su primer uso, en aguas grises.

En ese sentido, identificar la calidad y cantidad de las aguas grises generadas por una vivienda, se vuelve crucial para el posterior dimensionamiento de un sistema de reutilización domiciliario. Así, el desarrollo del presente capítulo continúa con la caracterización del flujo de alimentación bajo ambos conceptos ya mencionados.

2.2.1. Cantidad de aguas grises generadas

Aunque la obtención matemática del volumen exacto de aguas grises que genera una vivienda es muy poco plausible, debido al número de factores que alteran el consumo de agua potable (como sexo de los habitantes, cantidad de visitantes, cambio de hábitos en los integrantes del hogar, estaciones del año, entre otros), es aún posible esbozar una ecuación particularmente efectiva para las condiciones del sistema propuesto.

Esta fórmula de elaboración propia se detalla en el ANEXO A, y considera tres fuentes productoras de aguas grises; sin embargo, para el interés de la presente propuesta sólo se evaluarán los volúmenes mensuales suministrados por una ducha y un lavamanos, pues ellos son suficientes para el riego subsuperficial del jardín y la recarga del inodoro en la vivienda en cuestión.

Cabe mencionar además, que en favor de una resolución intuitiva, se considerarán las unidades suministradas por la tablas a disposición; sin embargo, para fines de concordancia con la totalidad del presente escrito, el resultado final de esta y las demás fórmulas, se expresará en [m³] sin explicar el proceso de conversión. Así, la Fórmula 2-1 posee la siguiente estructura:

Fórmula 2-1. Volumen mensual de aguas grises generadas

$$V_{m.ag} = 4,5 [n_p (Q_d t_d S_d + Q_{lm} t_{lm} S_{lm.p})] + 4,5 [n_t (Q_{lm} t_{lm} S_{lm.t})]$$

Donde:

V_{m.ag}: volumen mensual de aguas grises generadas [L].

n_p: número de personas que comparten la vivienda permanentemente.

n_t: número de personas que comparten la vivienda transitoriamente.

Q_d: caudal promedio de agua potable suministrado por la ducha [L/min].

Q_{lm}: caudal promedio de agua potable suministrado por el lavamanos [L/min].

t_d: tiempo de uso típico para la ducha [min].

t_{lm}: tiempo de uso típico para el lavamanos [min].

S_d: factor de uso típico de la ducha en una semana.

S_{lm.p}: factor de uso típico del lavamanos en una semana, por usuarios permanentes.

S_{lm.t}: factor de uso típico del lavamanos en una semana, por visitantes.

Siendo, conforme a valores comunes de operación en una vivienda unifamiliar de tres personas que reciban transitoriamente visitas en igual cantidad, tal como sigue:

n_p: 3.

n_t: 3.

Q_d: 9,5 [L/min].

Q_{lm}: 9 [L/min].

t_d: 8 [min].

t_{lm}: 0,5 [min].

S_d: 7.

S_{lm.p}: 21.

S_{lm.t}: 3,5.

Todas las cifras antes mencionadas, corresponden a valores de operación típicos publicados por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo del Gobierno de Chile en la presente Tabla 2-2.

Tabla 2-2. Caudales por artefacto e intensidad de uso diario según perfil y género

CAUDALES Y DEMANDA POR ARTEFACTO					INTENSIDAD DE USO DIARIO SEGÚN PERFIL DE USUARIO			
ARTEFACTO	CAUDALES	UNIDAD	DURACION (SEGUNDOS)	DEMANDA POR USO [Du] (litros)	PERMANENTES		TRANSITORIOS	
					M	F	M	F
Inodoro	6	Litros por descarga	n/a	6	1	3	0,2	0,5
Urinario	3,8	Litros por descarga	n/a	3,8	2	-	0,4	-
Lavamanos	9	Litros por minuto	30	4,5	3	3	0,5	0,5
Ducha	9,5	Litros por minuto	480	76	1	1	-	-
Lavaplatos cocina	9	Litros por minuto	60	9	4	4	-	-
Llave de riego 1/2"	8	Litros por minuto	480	64	1	1	-	-
Llave de riego 3/4"	8	Litros por minuto	480	64	1	1	-	-
Lavadora	60	Litros por ciclo	Un uso diario por unidad de vivienda	60	-	-	-	-
Lavavajilla	11	Litros por ciclo	Un uso diario por unidad de vivienda	11	-	-	-	-

Fuente: Tomo III de los Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas de Chile, 2018.

En perjuicio de lo anterior, el volumen de aguas grises generados por una ducha y un lavamanos, en una vivienda habitada por dos hombres y una mujer, será aproximadamente 8,671 [m³] al mes, de acuerdo con la siguiente resolución:

$$V_{m.ag} = 4,5 [3 (9,5 \times 8 \times 7 + 9 \times 0,5 \times 21)] + 4,5 [3 (9 \times 0,5 \times 3,5)]$$

$$V_{m.ag} = 8670,375 \approx 8671 [L] = 8,671 [m^3]$$

2.2.2. Calidad de aguas grises generadas

La calidad de las aguas grises generadas por el domicilio, es igual de variable que el apartado anterior debido en gran parte a los mismos factores. Por tanto, es justo recurrir a mediciones promedio de diferentes muestras alrededor del mundo, para establecer una caracterización típica que sea realista para la propuesta de diseño, considerando a diferencia de otras muestras, sólo tres orígenes: ducha, lavamanos y lavadora.

Las tablas que a continuación se presentan, corresponden a muestras internacionales de aguas grises; la primera (Ver Tabla 2-3), es una recopilación sintetizada entre Holanda, Israel y Omán (Franco, 2007), y la segunda (Ver Tabla 2-4) lo es también, pero entre Alemania, China, USA, Japón, y Australia (Li & Otterpohl, 2009).

Tabla 2-3. Caracterización de aguas grises por origen, según Holanda, Israel y Omán

PARÁMETROS	UNIDADES	PROMEDIO		
		DUCHA	LAVAPLATO	LAVADORA
FÍSICOS				
Conductividad	dS/m	0.1	-	0.2
SST	mg/l	340.8	505.0	283.3
SDT	mg/l	330.0	312.0	2385.0
Turbiedad (UNT)	UNT	374.7	133.0	444.3
QUÍMICOS				
DBO5	mg/l	203.5	42.1	250.3
DQO	mg/l	382.0	314.2	508.3
Fósforo (P)	mg/l	-	-	-
Nitrógeno Total	mg/l	-	-	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/l	-	-	-
pH		7.3	7.1	8.1
Surfactantes	mg/l	10.1	41.9	118.3
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	ufc/100ml	-	-	-
Coliformes Totales	ufc/100ml	-	-	-

Fuente: Tratamiento y Reutilización de Aguas Grises con Aplicación a Caso en Chile, 2007.

Tabla 2-4. Caracterización de agua grises por origen, según Alemania, China, USA, Japón y Australia

	Bathroom	Laundry	Kitchen	Mixed
pH (—)	6.4–8.1	7.1–10	5.9–7.4	6.3–8.1,
TSS (mg/l)	7–505	68 – 465	134–1300	25–183
Turbidity (NTU)	44–375	50 – 444	298.0	29–375
COD (mg/l)	100–633	231 – 2950	26–2050	100–700
BOD (mg/l)	50–300	48 – 472	536–1460	47–466
TN (mg/l)	3.6–19.4	1.1 – 40.3	11.4–74	1.7–34.3
TP (mg/l)	0.11– >48.8	ND – >171	2.9– >74	0.11–22.8
Total coliforms (CFU/100 ml)	10–2.4 × 10 ⁷	200.5–7 × 10 ⁵	>2.4 × 10 ⁸	56–8.03 × 10 ⁷
Faecal coliforms (CFU/ 100 ml)	0–3.4 × 10 ⁵	50–1.4 × 10 ³	–	0.1–1.5 × 10 ⁸

Fuente: Review of the Technological Approaches for Grey Water Treatment and Reuses, 2009.

En base a lo anterior, es que se genera la Tabla 2-5, para las aguas grises producidas por la ducha, el lavamanos y la lavadora de la vivienda en suposición, destacando cuatro variables que regula la normativa chilena, y sirviendo como antecedente para la posterior selección del sistema de tratamiento a emplear.

Cabe mencionar, que aunque para fines de la presente propuesta sólo se considerarán los datos referentes a la ducha y el lavamanos, se incorpora también la

caracterización del agua gris proveniente de la lavadora, sirviendo como referencia para una eventual ampliación del proyecto.

Tabla 2-5. Calidad de aguas grises provenientes de ducha, lavamanos y lavadora

PARÁMETRO	UNIDAD	DUCHA	LAVAMANOS	LAVADORA
pH	-	7,3	7,3	8,1
Turbiedad	UNT	374,7	374,7	444,3
DBO ₅	mg/L	203,5	203,5	250,3
SST	mg/L	340,8	340,8	283,3
CF	UFC/100ml	3000,0	1000,0	5000,0

Fuente: Elaboración propia, basada en Tratamiento y Reutilización de Aguas Grises con Aplicación a Caso en Chile (2007) y Review of the Technological Approaches for Grey Water Treatment and Reuses (2009); 2020.

2.3. AGUAS GRISES DEMANDADAS

En el primer capítulo, se expresó la calidad de aguas grises exigidas por la normativa chilena para la reutilización con fines de riego subsuperficial y recarga de inodoro (Ver Tabla 1-1 y Tabla 1-2); sin embargo, estimar además la cantidad requerida por ambos servicios es crucial, por lo que a continuación se despliegan dichas condiciones de operación.

2.3.1. Cantidad de aguas grises demandadas por un jardín

Para cumplir con el cálculo estimado del volumen de agua gris demandado por un jardín (Ver Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 22), existe un modelo matemático sumamente sencillo propuesto por la licenciada Laura Allen para Greywater Action (compañía de la cual es fundadora). Sin embargo, dicha fórmula tan solo involucra dos factores: clima predominante y área de riego, por lo que ingeniar una ecuación más acabada será bienvenido en una región con estrés hídrico extremo, donde no es opción sobrecargar agua potable para suplir el sistema.

Por lo anterior, es que se desenvuelve la siguiente serie de cálculos para determinar el volumen total requerido por el jardín en cuestión; realizándose el desarrollo como una adaptación de lo expuesto por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, en su tomo III de “Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas de Chile”.

De esta manera, el consumo anual de agua gris tratada que demanda el jardín según la cantidad de especies que contenga (N_{af}), vendrá dado por la siguiente Fórmula 2-2.

Fórmula 2-2. Consumo anual de aguas grises tratadas según especie

$$Na_f = 12 \times K_{sf} \times K_{df} \times K_{mcf} \times ETO \times P(e)$$

Donde:

f: especie que reside en el jardín.

Nar: consumo anual de aguas grises tratadas según especie [L/(año*m²)].

K_{sf}: factor de tipo de especie.

K_{df}: factor de nivel de densidad por especie.

K_{mcf}: factor de microclima por especie.

ETO: evapotranspiración local en su mes más crítico [L/(año*m²)].

P(e): factor de precipitación efectiva.

Posterior a su obtención y clasificación según especie, seguirá el cálculo de la necesidad final de agua gris tratada demandada por estas (NF_f), correspondiendo a un sobredimensionamiento del caudal de alimentación regido por la eficiencia del sistema de riego. Este, cumplirá la igualdad planteada en la Fórmula 2-3.

Fórmula 2-3. Necesidad final de aguas grises tratadas según especie

$$NF_f = Na_f \times EA$$

Donde:

f: especie que reside en el jardín.

NF_f: necesidad final de aguas grises tratadas según especie [L/(año*m²)].

Nar: consumo anual de aguas grises tratadas según especie [L/(año*m²)].

EA: eficiencia del sistema de riego a emplear.

En paralelo, se repartirá el riego de las especies escogidas, conforme a los porcentajes de la superficie total del patio que estas ocupen, satisfaciendo la Fórmula 2-4 para la superficie efectiva ocupada por la especie (S_f).

Fórmula 2-4. Superficie efectiva ocupada por especie

$$S_f = S_T \times \frac{Sc_f}{100}$$

Donde:

f: especie que reside en el jardín.

S_f: superficie efectiva ocupada por especie [m²].

S_T: superficie total del jardín [m²].

Sc_f: porcentaje del jardín ocupado por la especie.

Finalmente, corrigiendo la errónea formulación que propuso el Tomo III de los Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas de Chile en el año 2018, resulta para el cálculo del volumen mensual de agua gris demandada para riego del jardín (CAR), la Fórmula 2-5.

Fórmula 2-5. Consumo mensual de aguas grises tratadas por riego del jardín

$$CAR = \frac{\sum[S_f \times NF_f]}{12}$$

Donde:

f: especie que reside en el jardín.

CAR: consumo mensual de aguas grises tratadas por riego del jardín [L/mes].

S_f: superficie efectiva ocupada por la especie [m²].

NF_f: necesidad final de aguas grises tratadas por especie [L/(año*m²)].

De esta manera, para un jardín de 46,2 [m²] conformado en un 30% por árboles, un 20% arbustos, un 10% gramíneas y un 40% césped; con necesidad media de agua, en baja densidad, e insertas en un microclima altamente urbanizado en Copiapó, capital regional de Atacama, demandará por riego subsuperficial aproximadamente 1,7 [m³] mensuales de agua gris. Esto, según el resumen contenido en la Tabla 2-6.

Tabla 2-6. Resumen. Cantidad mensual de agua gris requerida para riego del jardín

Tipo de Especie	Ks	Kd	Kmc	ETO [mm/año]	P(e)	EA	S _T [m2]	Sc	Na [mm/año]	NF [mm/año]	S [m2]	CAR [m3/mes]
Árboles	0,5	0,5	1,4	192,0	0,6	0,9	46,2	30,0%	483,8	537,6	13,9	1,7
Arbustos	0,5	0,5	1,3	192,0	0,6	0,9	46,2	20,0%	449,3	499,2	9,2	
Gramíneas	0,6	1,1	0,5	192,0	0,6	0,9	46,2	10,0%	456,2	506,9	4,6	
Césped	0,7	0,6	0,5	192,0	0,6	0,9	46,2	40,0%	290,3	322,6	18,5	

Fuente: Elaboración propia, basada en la batería de resoluciones de las Fórmulas 2-2, 2-3, 2-4 y 2-5; 2020.

2.3.2. Cantidad de aguas grises demandadas por el inodoro

Aunque es cierto que el uso del inodoro es de aquellos servicios que poseen menor variabilidad respecto al consumo diario de agua potable, es también efectivo que no existe una ecuación que estandarice su demanda mensual. Por ello, es que considerando factores determinantes como el caudal del equipo sanitario, la frecuencia diaria de descarga, y la cantidad y sexo de los usuarios permanentes y transitorios, se construye la Fórmula 2-6 para dar con el volumen requerido por el inodoro del sistema.

Cabe mencionar, que dicha ecuación se desprende del ANEXO B, pero descarta la implementación de un urinario en el cuarto de baño de la vivienda y considera –con el fin de sobredimensionar el sistema– sólo visitantes de sexo masculino.

Fórmula 2-6. Volumen mensual de aguas grises tratadas demandado por el inodoro

$$V_{wc.m} = 4,5 \left[n_p (D_{wc} S_{p.wc}) \right] + 4,5 \left[n_{t.h} (D_{wc} S_{t.wc.h}) \right]$$

Donde:

V_{wc.m}: volumen mensual de aguas grises tratadas demandado por el inodoro [L].

n_p: número de personas que comparten la vivienda permanentemente.

n_{t.h}: número de hombres que comparten la vivienda transitoriamente.

D_{wc}: volumen típico de agua potable suministrado por el inodoro en una descarga [L/descarga].

S_{p.wc}: Uso típico del inodoro en una semana, por una habitante permanente [descarga].

S_{t.wc.h}: Uso típico del inodoro en una semana, por un habitante transitorio hombre [descarga].

Siendo los valores, según la Tabla 2-2.

n_p : 3.

$n_{t.h}$: 3.

D_{wc} : 6 [L/descarga].

$S_{p.wc}$: 21 [descargas].

$S_{t.wc.h}$: 4,2 [descargas].

Así, el volumen de aguas grises demandado por el inodoro del sistema en diseño, corresponderá aproximadamente a 2,042 [m³] al mes, en conformidad al siguiente desarrollo:

$$V_{wc.m} = 4,5 \times [3 \times (6 \times 21)] + 4,5 \times [3 \times (6 \times 4,2)]$$

$$V_{wc.m} = 2041,200 [L] \approx 2042 [L] = 2,042 [m^3]$$

2.4. CONFIGURACIÓN BÁSICA DE UN SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES

Un sistema de reutilización de desechos líquidos está compuesto –al menos– por cuatro etapas: recolección, tratamiento, almacenamiento y distribución. Estas poseen características propias que deben satisfacer las condiciones de operación propuestas, además de cumplir la normativa legal que se le asigne. En perjuicio de ello, a continuación se desarrolla la configuración básica de la propuesta de diseño de un sistema de reutilización de aguas grises, identificando cada etapa de su manipulación.

2.4.1. Recolección

Esta corresponde a la etapa inicial, donde las aguas grises generadas son recogidas y redireccionadas hasta su posterior tratamiento. Para los fines particulares de este proyecto, los fluidos a recolectar provendrán de dos fuentes: la ducha y el lavamanos; estos –basados en el modelado tridimensional de la primera sección (Ver Figura 2-1)– se ubicarán en el baño de la vivienda, al costado izquierdo de la entrada principal.

En cuanto a la regulación legal que envuelve la recolección de aguas grises, el reglamento analizado en el primer capítulo ordena la independencia del sistema de agua

potable y aguas lluvias, el color morado como distintivo en sus tuberías, y su posición inferior en atravesos y paralelismos con ductos de agua potable, y superior con ductos de aguas negras (Ver Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 14, 15 y 16).

En relación a las características técnicas de las tuberías y su despliegue en el sistema general de reutilización, serán apartados de diseño que se desarrollarán en el siguiente capítulo.

2.4.2. Tratamiento

La etapa de tratamiento corresponde al proceso de depuración al que se somete el agua gris recolectada, en favor de lograr la calidad final exigida por la normativa vigente. Así –como punto de conexión para el sistema de recolección antes discutido–, el reglamento de 2018 permite el uso de un tanque de homogeneización como unidad de tratamiento (Ver Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 17).

En ese sentido, el estado del arte ofrece una amplia gama de tratamientos; los que la Institución de Estándares Británicos (BSI) clasifica según el tipo de sistema al que pertenecen, de la siguiente manera:

- a) *Sistemas de reutilización directa*: son sistemas de simple configuración, donde el volumen de aguas grises recolectadas se entrega directamente a los puntos de consumo; sin tratamiento y con un almacenamiento mínimo o nulo.
- b) *Sistemas de retención cortos*: aquellos que emplean un tratamiento muy básico, retirando partículas de la superficie o aguardando su deposición al fondo del tanque. Por lo sencillo de su funcionamiento, no admiten periodos prolongados de almacenamiento.
- c) *Sistemas físico-químicos básicos*: corresponde a sistemas que filtran el volumen de agua gris recolectado, para aplicar posteriormente desinfectantes químicos que combatan el crecimiento bacteriano.
- d) *Sistemas biológicos*: son aquellos que emplean microorganismos aeróbicos o anaeróbicos para la sedimentación de la materia orgánica de las aguas grises en tratamiento.
- e) *Sistemas biomecánicos*: corresponden a los más sofisticados, combinando los dos últimos sistemas mencionados en una alta gama de opciones; como por ejemplo, la inyección de oxígeno en estanques con bacterias aeróbicas.
- f) *Sistemas híbridos*: son los compuestos por dos o más, de los sistemas anteriores (British Standards Institution, 2010).

De esta manera, siendo aceptada por la normativa vigente la reutilización de aguas grises provenientes de la ducha y el lavamanos para fines de riego de jardín y recarga de

inodoro, es que se considerará una unidad compartida para ambos fines, contemplando los requisitos finales de calidad que se establecen para el servicio más exigente (Ver Ley 21.075, 2018, Art. 10): en este caso, la recarga del inodoro.

La selección del tratamiento a emplear, se basará en pruebas internacionales adjuntas en el ANEXO C, resumida para fines prácticos en la Tabla 2-7. Allí, se registra la calidad de aguas grises de salida en cada sistema de tratamiento probado.

Tabla 2-7. Resumen. Calidad de aguas grises de salida en sistemas de tratamiento físico y físico-químico

PARÁMETRO	UNIDAD	SISTEMAS DE TRATAMIENTO FÍSICO		SISTEMAS DE TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO	
		FILTRO DE ARENA	MEMBRANA UF	FILTRO ARENA + MEMBRANA + DESINFECCIÓN	MEMBRANA + SEDIMENTACIÓN + OZONO
pH	-	-	-	-	-
Turbiedad	UNT	-	-	0,0	17,0
DBOs	mg/L	81,0	53,0	8,0	-
SST	mg/L	23,0	18,0	-	19,0
CF	UFC/100ml	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia, basada en Review of the Technological Approaches for Grey Water Treatment and Reuses (2009); 2020.

En perjuicio de lo anterior, se genera la Tabla 2-8 en justificación de un sistema de tratamiento físico-químico básico, tanto para el agua gris destinada al riego del jardín, como también para la destinada a la recarga del inodoro. De esta manera, será tópico del siguiente capítulo diseñar un terminal que sirva para ambos fines en correcta proporción.

Tabla 2-8. Evaluación de sistema de tratamiento de agua gris para riego del jardín y recarga de un inodoro

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR REAL	VALOR LEGAL MÁX.	ESTADO	SISTEMA DE TRATAMIENTO REQUERIDO
pH	-	7,3	-	CUMPLE	FILTRO DE ARENA + MEMBRANA + DESINFECCIÓN
Turbiedad	UNT	374,7	5,0	NO CUMPLE	
DBOs	mg/L	203,5	10,0	NO CUMPLE	
SST	mg/L	340,8	10,0	NO CUMPLE	
CF	UFC/100ml	3000,0	10,0	NO CUMPLE	

Fuente: Elaboración propia, basada en Tratamiento y Reutilización de Aguas Grises con Aplicación a Caso en Chile (2007) y Review of the Technological Approaches for Grey Water Treatment and Reuses (2009); 2020.

2.4.3. Almacenamiento

El almacenamiento de las aguas grises tratadas corresponde a la etapa que sigue del tratamiento, y cuyo fin es servir de fuente a la posterior distribución. Esta fase de la reutilización, comprende el uso de estanques que deberán satisfacer una serie de características constructivas para garantizar el óptimo manejo del volumen de aguas grises generadas.

En ese sentido, el reglamento nacional de referencia dedica cuatro artículos directamente relacionados a dicha etapa (Ver Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 18, 19, 23 y 26), donde se fija el tiempo máximo de estancamiento en 24 [hrs], exigiendo también la provisión de dispositivos de protección (como rejas, mallas, casetas, etc.) para limitar el libre acceso de animales o personas a los estanques de almacenamiento, además de una tapa, ductos de ventilación, rebosadero y desagüe. También, en estos artículos se precisa la correcta selección del estanque en favor del volumen proyectado, y se demanda una conexión directa al suministro de agua potable, para realizar labores profundos de limpieza al menos una vez al año, y eventualmente suplir la carencia de aguas grises en el servicio que presten.

De igual manera, el diseño específico de cada estanque de almacenamiento se realizará en el capítulo que sigue, abordando fundamentalmente sus dimensiones y material de conformación.

2.4.4. Distribución

Finalmente, la última etapa corresponde a la distribución del volumen de aguas grises tratadas, destacando como la encargada de conducir el flujo desde los estanques de almacenamiento hasta los servicios que se quieran prestar.

La normativa chilena establece algunos artículos de regulación general referidos a esta sección del sistema de reutilización de aguas grises (Ver Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 11, 12 y 13), los que ordenan que el sistema de reutilización contemple una descarga directa de su caudal con y sin tratamiento a la red domiciliaria de alcantarillado, cuidando que sean de preferencia gravitacionales, y que en sus puntos de descarga se le incorporen dispositivos que eviten el ingreso de aguas negras al sistema.

Además, respecto al fin último de la propuesta en diseño, el reglamento sólo especifica condiciones de distribución para el servicio urbano de riego (Ver Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 22, 28 y 40), estableciendo que no será admitido el riego por algún otro método que

produzca aerosoles de agua gris tratada (tales como aspersores o difusores), ni tampoco se aceptará el estancamiento de estas en la superficie del área regada, por efecto de la sobresaturación del suministro. Por tanto, la presente propuesta de diseño considerará el riego subsuperficial del jardín a una profundidad aproximada de 30 [cm] desde la superficie, implementando el sistema de distribución comercializado por el sitio web www.energia-on.com (incluye 100 metros de tubería DN 15, de color púrpura y con perforaciones cada 30 [cm], y 25 derivaciones de DN 25 a DN 15), además de regular la cantidad y tiempo de riego.

Finalmente, respecto a la selección de las tuberías que surcarán la vivienda para recargar el inodoro, se llevará a cabo en el siguiente capítulo, especificando dimensiones y material de construcción.

CAPÍTULO 3 DISEÑO DEL SISTEMA

3.1. CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL

En favor de un desarrollo integral de la propuesta de diseño, es que el presente capítulo funciona como continuación de los anteriores, proyectando según la normativa regente y bajo las condiciones de operación ya identificadas. En ese sentido, es que se establecerá en los siguientes dos apartados, la configuración funcional y espacial del sistema de reutilización de aguas grises, utilizando figuras esquemáticas que faciliten su comprensión y sirvan de antecedente para el posterior dimensionamiento y control del mismo.

3.1.1. Esquema funcional

La originalidad de la presente propuesta de diseño radica en lo particular de las condiciones habitacionales dispuestas y el cumplimiento detallado de la normativa chilena; sin embargo, esta se manifiesta con mayor claridad en lo distintivo de su configuración, priorizando la circulación del fluido por efecto de la gravedad y reduciendo a tan sólo una bomba centrífuga la adición de energía al sistema. De esta manera, las cuatro etapas básicas mencionadas en el capítulo anterior (recolección, almacenamiento, tratamiento y distribución) cumplirán las siguientes especificaciones.

La recolección se llevará a cabo por una única tubería de DN 25 que unirá los desagües de la ducha y el lavamanos, siendo la encargada de dirigir todo el volumen de aguas grises generadas hasta un sólo estanque de homogeneización (Ver Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 17). Este discriminará por la técnica de rebosamiento cuánto será el volumen a retener para su posterior reúso, desechando el resto antes de su tratamiento físico-químico con el fin de maximizar la eficiencia energética del sistema.

Luego, desde la base del estanque de homogeneización se dispondrá hasta la primera cámara de la unidad de depuración, una tubería de DN 25. Con esto, se busca continuar el flujo del agua gris cruda por entre los filtros naturales dispuestos en dicha unidad.

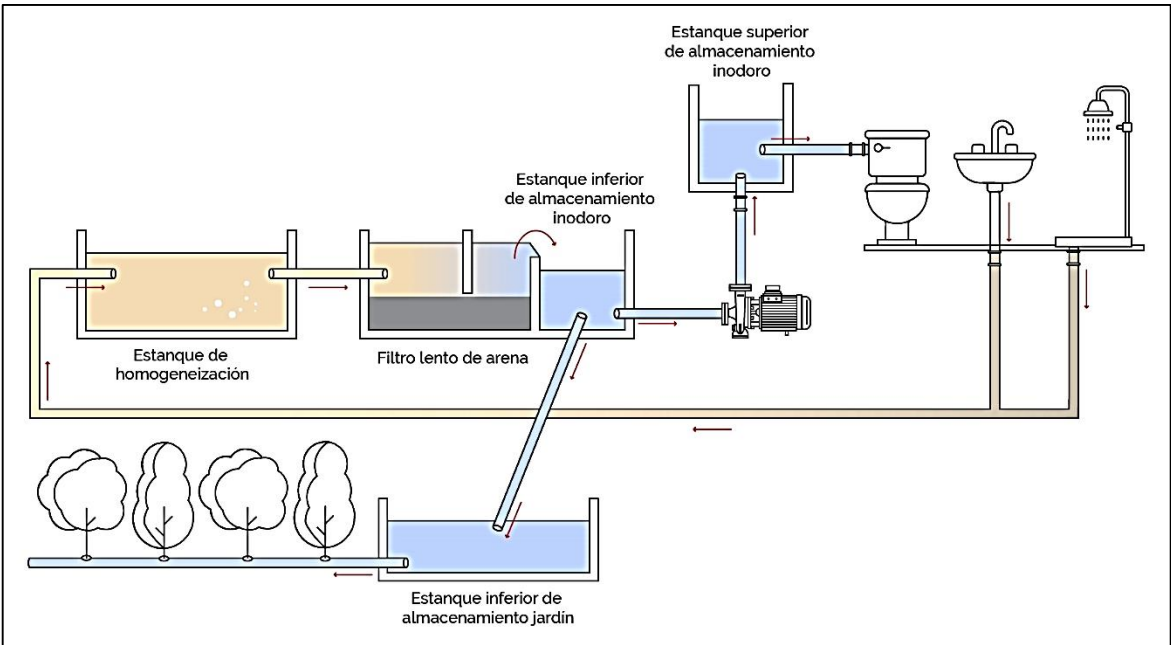
La depuración del agua gris cruda, se realizará por medio de un filtro lento de arena conformado por dos cámaras, y asociado a un dosificador de cloro en el último tramo del circuito. De esta manera, el agua gris proveniente de la etapa de recolección/almacenamiento descenderá a la primera cámara de depuración –compuesta por arena y gravilla–, continuando por gravedad su recorrido hasta la segunda cámara –compuesta de gravilla y una mezcla a partes iguales de carbón activado y carbón bituminoso–, ascendiendo por entre las capas dispuestas allí para favorecer la sedimentación de las partículas suspendidas y aminorar hasta valores de prácticamente cero el cloro libre residual.

Posteriormente, al agua gris tratada sólo le restará cumplir con el mismo parámetro antes consumido (cloro libre residual), el que al estar en niveles despreciables será mucho más fácil de regular con un dosificador de cloro que es comúnmente utilizado en la potabilización del agua (Valac VLC/08). Así, se garantiza la completa caracterización demandada por la normativa chilena al respecto.

El estanque de almacenamiento que alimentará a la bomba centrífuga y al estanque de distribución para riego del jardín, colinda con la unidad de tratamiento ya descrita, y es llena por medio del rebosamiento producido por las diferencias de altura del sistema. De esta manera, el estanque de almacenamiento inferior –en semejanza al estanque de homogeneización– posee un rebosadero que asegura el volumen destinado a la recarga del inodoro, a la vez que descarta el excedente destinado al riego del jardín.

Finalmente, existen dos unidades que son las precedentes al reuso propiamente tal: la primera, recibe el caudal provisto por la bomba centrífuga y lo almacena en un estanque superior que alimentará al inodoro cada vez que exista una descarga. La segunda, corresponde a un estanque que colinda lateralmente con la unidad de almacenamiento/distribución mencionada en el párrafo anterior, y que es el encargado de suministrar agua gris tratada a la red subsuperficial de riego del jardín.

En perjuicio de todo lo anterior, es que la Figura 3-1 esquematiza en forma general el papel que desempeñará cada componente del sistema, destacando la relación entre las unidades que harán posible la reutilización de aguas grises. Con esto, es posible visualizar en forma sencilla la funcionalidad de la propuesta de diseño.



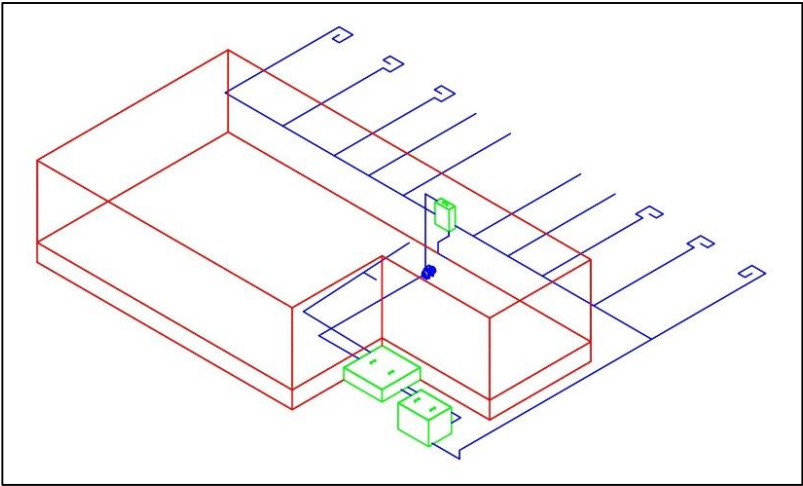
Fuente: Elaboración propia, construido en Adobe Illustrator (vers. 2017); 2020.

Figura 3-1. Esquema funcional del sistema

Cabe mencionar, que todas las dimensiones, distancias y orientaciones entre un elemento y otro, sólo son con fines prácticos de representación, y en los apartados siguientes se han de determinar con detalle.

3.1.2. Distribución espacial

La propuesta de diseño en cuestión contempla un amplio despliegue de tuberías y estanques en la subsuperficie del domicilio, por lo que ilustrar su distribución será útil para comprender la relación entre ambos grupos. De esta manera, la Figura 3-2 presenta una isometría simplificada del sistema en diseño, correspondiendo a una pequeñísima parte del modelo tridimensional –completo y renderizado– alojado en el anexo audiovisual adjunto (Ver ANEXO D).



Fuente: Elaboración propia, modelado en Autodesk Inventor (vers. 2016) y simplificado en AutoCAD (vers. 2016); 2020.

Figura 3-2. Distribución espacial simple del sistema

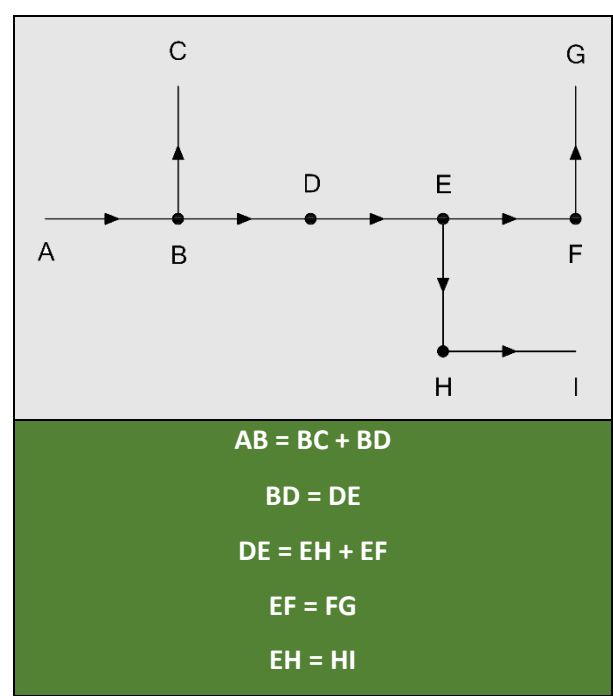
3.2. DIMENSIONAMIENTO

En base a la configuración funcional del sistema y los volúmenes mensuales de aguas grises presupuestados en el segundo capítulo, es posible diseñar y seleccionar los componentes que participarán en las etapas de reutilización, buscando garantizar –con lo particular del diseño– la capacidad operativa del sistema en la misma medida que se favorece su mantenibilidad y sencillez de construcción.

3.2.1. Cálculo de redes de flujo

Es preciso antes de continuar con el diseño, caracterizar las redes de flujo que compondrán el sistema de reutilización de aguas grises; pues desde ahí el dimensionamiento de las demás unidades de tratamiento y almacenamiento cobrará sentido, tal como es el caso del diseño del filtro lento de arena, donde para determinar su área superficial mínima de filtrado es necesario conocer antes el caudal de diseño (Ver Fórmula 3-1).

Bajo ese fin, es que la Figura 3-3 representa con segmentos y nodos, las tuberías y estanques del proyecto, respectivamente; facilitando la identificación de los caudales contenidos en la Tabla 3-1, según el cumplimiento de la Ley de Conservación de la Materia y las ecuaciones que se desprenden de ella.



Fuente: Elaboración propia, construido en AutoCAD (vers. 2016); 2020.

Figura 3-3. Esquema del flujo de aguas grises crudas y tratadas

Cabe mencionar, que los caudales inferidos desde el capítulo anterior son los que recorren los segmentos AB, FG y HI, pues estos corresponden a los volúmenes mensuales de generación y demanda de agua grises ya calculados. Sin embargo, en favor del orden de unidades, los mismos se expresarán en [m³/h].

Tabla 3-1. Red de flujo del sistema de reutilización

SEGMENTO	ÁREA DE PROCESO	EQUIVALENCIA	CAUDAL [m ³ /h]
AB	Alimentación de agua gris	BC + BD	0,0117
BC	Rebalse al alcantarillado	AB - (EF + GH)	0,0066
BD	Llenado unidad de tratamiento	DE	0,0051
DE	Llenado estanque de almacenamiento inferior	FG + HI	0,0051
EF	Llenado estanque de almacenamiento inodoro	FG	0,0028
EH	Llenado estanque de almacenamiento jardín	HI	0,0023
FG	Recarga del inodoro	EF	0,0028
HI	Riego subsuperficial del jardín	EH	0,0023

Fuente: Elaboración propia, basada en el cumplimiento matemático de la Ley de Conservación de la Materia; 2020.

3.2.2. Diseño de componentes mecánicos

Los elementos mecánicos que se han de diseñar, corresponden en su totalidad a estanques involucrados en las etapas de almacenamiento y tratamiento del agua gris; por lo que este apartado se dividirá respectivamente en esas direcciones en favor del orden intuitivo de los cálculos.

Cabe mencionar, que la altura a la que se dispondrán los diferentes rebosaderos – junto con su dirección y tamaño– se especifican en los Planos 1.03.01, 1.04.01, 1.04.03 y 1.05.01 (Ver ANEXO E), de manera que no se abordan en este apartado por estar implícitos en las alturas máximas de columnas de agua gris cruda y tratada que cada estanque debe contener.

Unidades de almacenamiento

En primer lugar, para la distribución del servicio de recarga del inodoro y el riego subsuperficial del jardín, se considerarán tres estanques de diferentes dimensiones, de los cuales dos colindan con la misma unidad de tratamiento, mientras que el restante se ubica al exterior del baño de la vivienda, anterior al estanque propio del inodoro.

En vista de lo anterior y según los antecedentes en manejo, se requerirá que el primer estanque de almacenamiento de agua gris tratada destinada a la recarga del inodoro, que sigue inmediatamente a la unidad de tratamiento (para fines prácticos se le identificará como “estanque inferior de almacenamiento inodoro”), tenga la capacidad de contener 0,066 [m³] con un nivel máximo preferente de 0,40 [m]; mientras que el segundo estanque destinado al mismo servicio, pero que es llenado por el anterior (para fines prácticos se le

identificará como “estanque superior de almacenamiento inodoro”), deberá contener 0,024 [m³] con un nivel máximo de 0,45 [m].

Por su parte, la unidad que se sirve del rebosadero ubicado en el “estanque inferior de almacenamiento inodoro” para reunir el volumen de agua gris tratada destinada al riego subsuperficial (para fines prácticos se le identificará como “estanque inferior de almacenamiento jardín”), deberá contener idealmente 0,055 [m³] de aguas grises tratadas, con una columna sobrenadante igual a 0,35 [m] en su mayor nivel.

En perjuicio de lo anterior, se construye la Tabla 3-2 para reunir las dimensiones principales de largo, alto y ancho de cada estanque, siguiendo un desarrollo básico de despeje matemático para un paralelepípedo de volumen conocido. Además, se aplica a todas las dimensiones no predefinidas un factor de seguridad de construcción (F.S.c) igual a 1,1, en favor de suprimir los potenciales errores de instalación en los sensores de nivel; es decir, se sobredimensiona la distancia entre paredes para asegurar la disponibilidad del volumen de agua gris, a pesar de que la altura no sea bien regulada por el sensor flotador.

Tabla 3-2. Dimensiones generales de las unidades de almacenamiento

UNIDAD DE ALMACENAMIENTO	VOLUMEN MÍN. DE AGUA GRIS TRATADA [m^3]	VOLUMEN REAL DE AGUA GRIS TRATADA [m^3]	NIVEL MÁX. DE AGUA GRIS TRATADA [m]	LARGO [m]	ALTO [m]	ANCHO [m]
Inferior Inodoro	0,066	0,081	0,400	0,450	0,650	0,450
Superior Inodoro	0,024	0,031	0,450	0,400	0,550	0,170
Jardín	0,055	0,062	0,350	0,880	0,650	0,200

Fuente: Elaboración propia, basada en cálculos matemáticos para dimensionamiento de un paralelepípedo de volumen conocido, aplicando un F.S.c. igual a 1,1; 2020.

Unidades de tratamiento

Respecto a la unidad de tratamiento, esta se conformará por el tanque de homogeneización y el filtro lento de arena. De esta manera, debido a que en la práctica el tanque de homogeneización precede al filtro de arena, para fines prácticos de cálculo se considerará además de los volúmenes anteriores, el volumen total de agua gris contenido en las cámaras de depuración, para un dimensionamiento efectivo del tanque de homogeneización.

En ese sentido, es que para las cámaras de depuración descendente y ascendente se tendrán las siguientes proporciones respectivamente, según la Guía para Diseño de Sistemas de Tratamiento de Filtración en Múltiples Etapas: la primera tendrá una altura de agua gris sobrenadante igual a 0,30 [m], además de una capa de arena gruesa con 0,15 [m] de altura, y otra con 0,10 [m] de gravilla; la segunda tendrá una altura de agua gris sobrenadante igual a 0,25 [m] antes del rebosadero, además de una capa de carbón

activado y carbón bituminoso de 0,15 [m] de altura, sobre otros 0,10 [m] de gravilla (Organización Panamericana de la Salud, 2005).

Para el diseño del filtro lento de arena, es necesario considerar un factor más que determinará la efectividad del tratamiento de las aguas grises. Este corresponde al área superficial mínima que deben cumplir las diversas capas de filtrado, y que se obtiene según la siguiente fórmula extraída de la guía mencionada en el párrafo anterior, pero modificada a unidades convenientes y agregando un F.S._f igual a 1,4:

Fórmula 3-1. Área superficial mínima de filtrado

$$A_s = \frac{Q_d}{N \times V_f} \times F.S.$$

Donde:

A_s: área superficial mínima de filtrado [m²].

Q_d: caudal de diseño de la unidad de tratamiento [m³/h].

N: cantidad de unidades de tratamiento.

V_f: velocidad de filtración del material filtrante [m/h].

F.S._f: factor de seguridad autoasginado para filtro lento de arena.

En perjuicio de lo anterior, se considerará como referente el lecho filtrante de la arena, puesto que es la que posee menor velocidad de filtración en comparación a la gravilla y el carbón activo presupuestado. Así, se obtendrá un área superficial suficiente para satisfacer ambas cámaras de depuración, según el caudal referido a esta unidad en el apartado anterior, y la velocidad de filtrado para la arena, publicada por la Organización Panamericana de la Salud (OPS); siendo como sigue:

Q_d: 0,0051 [m³/h].

N: 1.

V_f: 0,09972 [m/h].

F.S._f: 1,4.

Por tanto, el área superficial mínima ha de ser aproximadamente de 0,072 [m²], conforme a la siguiente resolución:

$$A_s = \frac{0,0051}{1 \times 0,09972} \times 1,4 = 0,0716 \text{ [m}^2\text{]} \approx 0,072 \text{ [m}^2\text{]}$$

En síntesis, considerando que la superficie, ancho y alturas de cada lecho filtrante ya se establecieron en las páginas precedentes, es que se genera la Tabla 3-3 para publicar las dimensiones principales del filtro lento de arena, nuevamente basado en el desarrollo básico de despeje matemático para un paralelepípedo de volumen conocido, con un F.S.c. igual a 1,1.

Además, es preciso mencionar que adicional al volumen de agua gris sobrenadante, se considera –en ausencia de muestras químicas para la determinación de la densidad aparente de los filtros naturales en uso– que aproximadamente 1/3 del volumen registrado por las capas filtrantes, corresponde a agua gris en tratamiento.

Tabla 3-3. Dimensiones generales del filtro lento de arena por cámara de depuración

CÁMARA DE DEPURACIÓN	VOLUMEN DE AGUA GRIS EN LA CÁMARA [m^3]	ÁREA SUPERFICIAL MÍN. DE FILTRADO [m^2]	ÁREA SUPERFICIAL REAL DE FILTRADO [m^2]	LARGO [m]	ALTO [m]	ANCHO [m]
Descendente	0,037	0,072	0,095	0,210	0,650	0,450
Ascendente	0,032	0,072	0,095	0,210	0,650	0,450

Fuente: Elaboración propia, basada en cálculos matemáticos para dimensionamiento de un paralelepípedo de volumen conocido, aplicando un F.S.c. igual a 1,1; 2020.

En último lugar, el tanque de homogeneización deberá el volumen de aguas grises crudas que contenga, a la suma de todos los volúmenes dispuestos en cada uno de los componentes antes mencionados, entendiendo que con ello se garantiza la operatividad autónoma del sistema por al menos dos días: tiempo máximo para almacenar aguas grises tratadas (Ver Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 17).

En vista de lo anterior, el tanque que recibirá directamente las aguas grises provenientes de la ducha y el lavamanos, deberá contener un volumen total de aguas grises crudas igual a 0,243 [m³], con una altura que en su mayor nivel mida 0,2 [m].

Por tanto, de igual forma que el dimensionamiento de los estanques de almacenamiento, la Tabla 3-4 presenta las cotas de largo, alto y ancho del estanque de homogeneización conforme al mismo desarrollo matemático anteriormente descrito.

Tabla 3-4. Dimensiones generales del estanque de homogeneización

UNIDAD DE TRATAMIENTO	VOLUMEN MÍN. DE AGUA GRIS TRATADA [m^3]	VOLUMEN REAL DE AGUA GRIS TRATADA [m^3]	NIVEL MÁX. DE AGUA GRIS TRATADA [m]	LARGO [m]	ALTO [m]	ANCHO [m]
Estanque de Homogeneización	0,243	0,247	0,200	1,110	0,300	1,110

Fuente: Elaboración propia, basada en cálculos matemáticos para dimensionamiento de un paralelepípedo de volumen conocido, aplicando un F.S.c. igual a 1,1; 2020.

Finalmente, en cuanto al conformado de todas las unidades de almacenamiento y tratamiento del sistema, se propone la unión de placas de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) de 5 [mm] de espesor, por medio de Adhesivo High Tack y Cinta Polyken 930. Esto, considerando lo particular del diseño de los estanques y las condiciones de rigidez, impermeabilidad, atoxicidad y muy buena resistencia química y térmica que satisface el material mencionado para la manipulación de tan pequeños cuerpos de agua.

Además, para la armadura interna que sostendrá las divisiones de las cámaras de depuración y las tapas de las diferentes unidades de almacenamiento y tratamiento, se contemplan ángulos de Cloruro de Polivinilo (PVC) de 25x25x1000 [mm] que se seccionarán según lo especificado en los Planos de Subconjunto 1.03, 1.04 y 1.05 (Ver ANEXO E).

3.2.3. Selección de componentes mecánicos

Los elementos puramente mecánicos que comunican e intervienen las unidades antes descritas de manera directa e indirecta, son de siete tipos: tuberías, conexiones, válvulas, filtros de malla, dosificador de cloro, gabinete para tablero eléctrico y regletas de conexión. Por tanto, para simplificar su descripción se genera la Tabla 3-5, donde se muestran todos los componentes que subyacen bajo esas siete categorías.

Además, es oportuno mencionar que el material elegido para las tuberías será Polipropileno Random (PPR); pues considerando que el líquido a conducir variará su temperatura entre 0-42 [°C] aproximadamente, se requieren propiedades de muy baja dilatación térmica, alta resistencia química y total atoxicidad. En ese sentido, los únicos componentes comerciales que difieren del material mencionado, son los ductos para el cableado eléctrico y sus respectivas conexiones (de PVC), además de la válvula de admisión para el inodoro (de PE), el dosificador de cloro para la unidad de tratamiento (de PVC), los filtros de malla para las conexiones a los estanques (de AISI 304) y el gabinete para el alojamiento del tablero eléctrico (de SAE 1010), lo que no significa un problema debido a la labor que prestan y el lugar en que se ubican dentro del sistema de reutilización.

Tabla 3-5. Componentes mecánicos del sistema de reutilización

COMPONENTE	MARCA	MODELO	MATERIAL	DIMENSIONES
Tuberías	Ampersand	RTB2000	PPR	DN 20
	Ampersand	RTB2500	PPR	DN 25
	Compex	Conduit	PVC	DN 20
Conexiones	Ampersand	REE2500	PPR	DN 25
	Ampersand	RCC1200	PPR	DN 20
	Ampersand	RCC2200	PPR	DN 25
	Ampersand	RIM2010	PPR	DN 20
	Ampersand	RIH2010	PPR	DN 20
	Ampersand	RIM2510	PPR	DN 25
	Ampersand	RIH2510	PPR	DN 25
	Ampersand	RIM4010	PPR	DN 40
	Ampersand	RIH4010	PPR	DN 40
	Tigre	Conduit	PVC	DN 20
	Tigre	Conduit	PVC	DN 20
	NGP	De bola	PPR	DN 20
Válvulas	Fluidmaster	De admisión	PE	DN 20
Kit de riego	Energía-on	Subsuperficial	PPR	DN 15
Filtro de malla	LYthE	20	AISI 304	Aper. 1.1 [mm]
Dosificador de cloro	Valac	VLC/08	PVC	DN 40
Gabinete tablero eléctrico	Ferrelectrica	IP 65	SAE 1010	400x300x200 [mm]
Regleta de conexión	drl	-	-	6 [mm]

Fuente: Elaboración propia, basada en las condiciones constructivas del sistema de reutilización; 2020.

3.3. SISTEMA DE CONTROL

Para la dirección del aparataje mecánico anteriormente descrito, se propone un sistema de control semi automático, capaz de identificar y suplir las demandas internas y externas de agua gris cruda y tratada. Así, se pretende dar con una manipulación eficiente del recurso hídrico a disposición, cumpliendo los siguientes tres apartados de diseño.

3.3.1. Diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID)

Aun siendo de carácter domiciliario, la presente propuesta cuenta con un completo sistema de control, incorporando toda la instrumentación que es común en esta área, pero cuidando no sobreestimar lo poco exigente de sus operaciones.

En perjuicio de lo anterior, se recurre a la construcción del diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID) que se visualiza en la Figura 3-4, con el fin de representar el instrumental requerido por el proceso de reutilización de las aguas grises destinadas al riego subsuperficial del jardín y la recarga del inodoro, especificando para cada componente eléctrico: su nivel de interacción, variable que registra, función que cumple,

Tabla 3-6, especificando también los elementos electromecánicos que intervienen el proceso y su eventual activación (1) o desactivación (0), según lógica binaria.

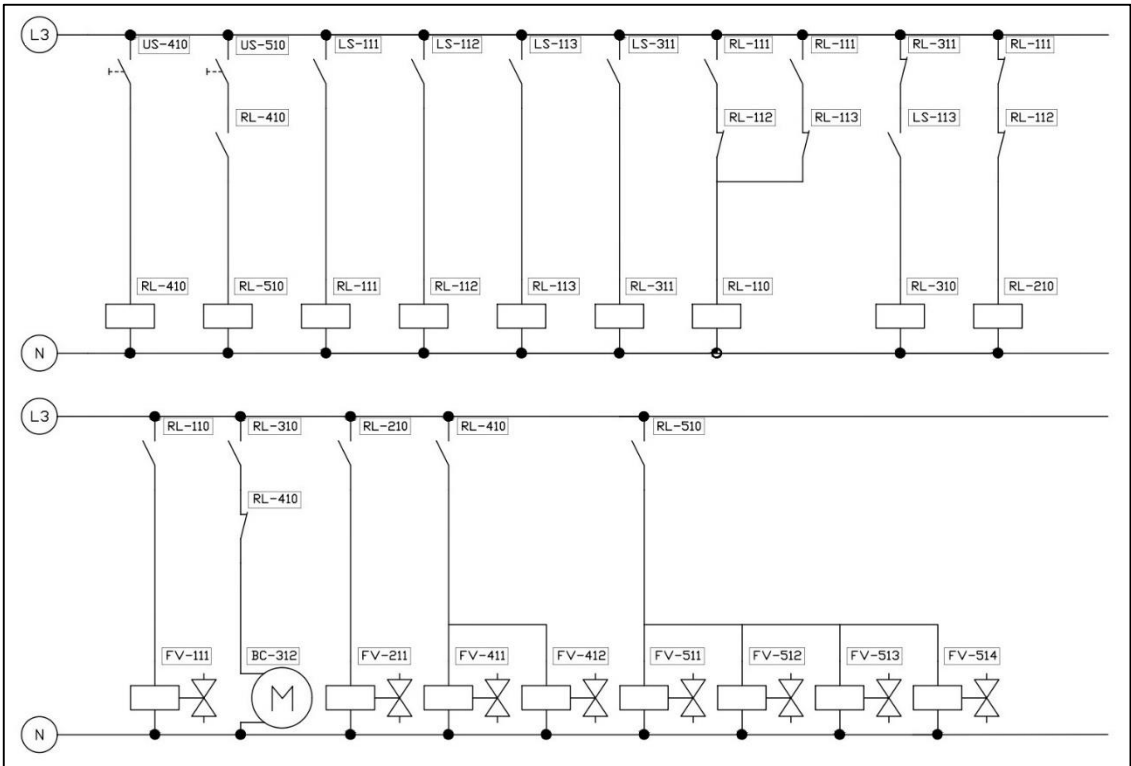
Tabla 3-6. Tablas de verdad por operaciones automáticas

OPERACIÓN	LLENADO DE LOS ESTANQUES				RECARGA DEL INODORO			RIEGO SUBSUPERFICIAL DEL JARDÍN		
ELEMENTO	LS-111	LS-112	LS-113	FV-111	LS-113	LS-311	BC-312	LS-111	LS-112	FV-211
ESTADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0
	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
	1	0	0	1						
	1	1	0	1						
	1	0	1	1						
	1	1	1	0						

Fuente: Elaboración propia, basada en las condiciones operativas del sistema de reutilización; 2020.

Respecto a las operaciones adicionales incorporadas en el sistema de control, se cuenta el interruptor “US-410”, que será el encargado de dar la Partida/Parada al sistema de reutilización cuando lo estime conveniente el operador; y también el interruptor “US-510”, que hará posible el vaciado de todos los estanques siempre que la Parada antes mencionada esté activa. Estas acciones favorecerán el respeto a la normativa nacional en el caso que exista –por ejemplo– alguna inundación y sea necesario detener el funcionamiento del sistema de reutilización (Ver Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 11 y 28), de la misma manera en que se facilita su mantenimiento sin necesidad de frenar los servicios prestados, pues tanto el riego subsuperficial del jardín como la recarga del inodoro, se realizarán con agua potable mientras los estanques detengan su llenado o derechamente estén siendo vaciados por la acción de los interruptores ya mencionados (Ver Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 26).

En perjuicio de lo anterior, el diagrama eléctrico de control resultante será el de la Figura 3-5, sirviendo como antecedente para la posterior selección de los componentes eléctricos requeridos por la propuesta de diseño.



Fuente: Elaboración propia, construido en Automation Studio (vers. 3.0.5) y modificado en AutoCAD (vers. 2016); 2020.

Figura 3-5. Diagrama eléctrico del sistema

3.3.3. Selección de componentes eléctricos

Los equipos electromecánicos y componentes eléctricos que harán posible la ejecución de todo el sistema de control, serán los expuestos en la Tabla 3-7, donde se caracterizan según su marca, modelo, material, dimensiones y detalles particulares de operación.

Tabla 3-7. Componentes eléctricos del sistema de reutilización

COMPONENTE	MARCA	MODELO	MATERIAL	DETALLE	DIMENSIONES
Bomba centrífuga	BESTFLOW	BTPm 37	Hierro fundido	0,5 [HP] 50 [Hz] 220 [V]	Conexión 1" X 1"
Interruptor de nivel	PGIC	3m	Polipropileno	50 [Hz] 220 [V]	Largo cable 3 [m]
Electroválvulas	NUOER	2W200-20	Latón	50 [Hz] 220 [V] NC	DN 20
	NUOER	2W250-25	Latón	50 [Hz] 220 [V] NC	DN 25
	TF	TF5000	Latón	50 [Hz] 220 [V]	DN 25
Disyuntor magnetotérmico					
Relé	Muhao	HH54P MY4NJ	Polietileno	4 NC + 4 NA 220 [V]	-
Alambres	Cocesa	NYA H07V-U	PVC - Cobre	Color rojo 100 [m]	1,5 [mm]
	Cocesa	NYA H07V-U	PVC - Cobre	Color blanco 100 [m]	1,5 [mm]
	Cocesa	NYA H07V-U	PVC - Cobre	Color verde 100 [m]	1,5 [mm]

Fuente: Elaboración propia, basada en las condiciones operativas del sistema de control; 2020.

3.4. GUÍA SIMPLE DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

En favor de los alcances de la propuesta de diseño (Ver Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, 2018, Art. 24) y su principal enfoque, es que la guía de operación y mantenimiento que a continuación se desarrolla, no aborda en detalle aspectos técnicos que otras disciplinas a fines podrían agotar; sino que más bien, todas las acciones que se especifican son dirigidas al operador del sistema domiciliario de reutilización de aguas grises, pretendiendo que desde la simplicidad de la práctica sea posible consolidar un mayor entendimiento del funcionamiento del sistema.

3.4.1. Operación

El proyecto contempla cinco operaciones principales que pueden ser ejecutadas por el propietario del sistema. La primera de ellas servirá para poner en marcha todo el aparataje mecánico-eléctrico luego de cierto periodo de inactividad (Partida), la segunda opera como mecanismo de seguridad para detener el funcionamiento del sistema en cualquier momento, aislándolo y supliendo los servicios pactados con el agua potable de respaldo (Parada de emergencia), la tercera es posible ejecutarla sólo en seguida de la anterior, drenando cada unidad de almacenamiento y tratamiento del sistema (Vaciado de estanques), la cuarta es de carácter manual y es indispensable para una depuración efectiva y legal de las agua grises recolectadas (Regulación de cloración), y finalmente, la quinta tendrá lugar cada vez que se deba cumplir con el mantenimiento que se especifica en el apartado siguiente, sirviéndose de algunas de las operaciones ya mencionadas (Inicio de mantenimiento).

A continuación, la Tabla 3-8 especifica la lista de pasos y precauciones que deberán acompañar a cada operación.

Tabla 3-8. Guía simple de operación

OPERACIÓN	PASOS A SEGUIR	PRECAUCIONES
Partida	1- Verificar la correcta conexión entre los estanques y sus tuberías.	- Usar calzado cada vez que se manipule el sistema de reutilización. - No manipular los elementos eléctricos con manos mojadas.
	2- Corroborar las alturas adecuadas de las capas del filtro lento de arena.	
	3- De no estar vacíos los estanques de almacenamiento, regular la cloración del agua gris tratada.	
	4- Comprobar visualmente la correcta conexión entre el suministro eléctrico del domicilio y el tablero de control.	
	5- De estar activado en el tablero de control, desaccionar el interruptor etiquetado como "Vaciado estanques".	
	6- Accionar el interruptor etiquetado como "Partida", en el tablero de control.	
Parada de emergencia	1- Desaccionar el interruptor etiquetado como "Partida", en el tablero de control.	- Usar calzado cada vez que se manipule el sistema de reutilización.
	2- Corroborar la parada del sistema de reutilización, atendiendo al cese de los servicios de riego subsuperficial del jardín y recarga del inodoro con agua gris tratada.	- Regar el jardín subsuperficialmente según se estime, abriendo y cerrando manualmente la válvula de bola especificada en los planos del proyecto (Ver ANEXO E).
	3- Verificar si los servicios de riego subsuperficial del jardín y recarga del inodoro son suplidos con el agua potable de respaldo.	- No manipular los elementos eléctricos con manos mojadas. - Cuidar que el sistema de reutilización no esté parado por más de 48 [hrs] sin ser vaciados sus estanques.
Vaciado de estanques	1- Desaccionar el interruptor etiquetado como "Partida", en el tablero de control.	- Usar calzado cada vez que se manipule el sistema de reutilización.
	2- Corroborar la parada del sistema de reutilización, atendiendo al cese de los servicios de riego subsuperficial del jardín y recarga del inodoro con agua gris tratada.	- No manipular los elementos eléctricos con manos mojadas.
	3- Verificar si los servicios de riego subsuperficial del jardín y recarga del inodoro son suplidos con el agua potable de respaldo.	- Regar el jardín subsuperficialmente según se estime, abriendo y cerrando manualmente la válvula de bola especificada en los planos del proyecto (Ver ANEXO E).
	4- Accionar el interruptor etiquetado como "Vaciado estanques", en el tablero de control.	
Regulación de cloración	1- Tomar una muestra del agua gris tratada depositada en el estanque inferior almacenamiento inodoro, con el tester CLOR-DETECTOR de VALAC, siguiendo las instrucciones de manejo adjuntas (Ver ANEXO F).	- Utilizar solamente tabletas de hipoclorito de Calcio al 65%.
	2- Revisar que la muestra presente valores de cloro libre residual entre 0,5 - 2 [mg/l]. De no ser así, proseguir con el siguiente paso.	- Es recomendable no colocar más de dos tabletas de cloro en el cartucho.
	3- Roscar la tapa del dosificador VLC/08, aumentando (hacia la derecha) o disminuyendo (hacia la izquierda) la dosis de cloración.	- Considerar que cada vuelta completa a la tapa del dosificador VLC/08, desciende en 3 [mm] la tableta de cloro.
	4- Repetir el segundo y tercer paso las veces que sea necesario.	
Inicio de mantenimiento	1- Desaccionar el interruptor etiquetado como "Partida", en el tablero de control.	- Usar calzado cada vez que se manipule el sistema de reutilización.
	2- Corroborar la parada del sistema de reutilización, atendiendo al cese de los servicios de riego subsuperficial del jardín y recarga del inodoro con agua gris tratada.	- No manipular los elementos eléctricos con manos mojadas.
	3- Verificar si los servicios de riego subsuperficial del jardín y recarga del inodoro son suplidos con el agua potable de respaldo.	- Regar el jardín subsuperficialmente según se estime, abriendo y cerrando manualmente la válvula de bola especificada en los planos del proyecto (Ver ANEXO E).
	4- Accionar el interruptor etiquetado como "Vaciado estanques", en el tablero de control.	
	5- Cumplir las tareas dispuestas en la "Guía de mantenimiento".	

Fuente: Elaboración propia, basada en las condiciones operativas del sistema de reutilización; 2020.

3.4.2. Mantenimiento

Finalmente, las tareas de mantenimiento que se sugieren son de dos tipos: preventivas y correctivas programadas, de muy simple aplicación y que no requieren mayor batería de herramientas. Estas, se clasifican según la etapa de reutilización en la que intervienen, y abordan una importante cantidad de componentes mecánicos a los que el operador del sistema puede tener acceso sin mayor riesgo de accidente, según la naturaleza de las acciones que debe realizar.

En perjuicio de lo anterior, la Tabla 3-9 sirve como una guía simple y concreta para la obra de mantenimiento del sistema de reutilización domiciliario de aguas grises.

Tabla 3-9. Guía simple de mantenimiento

ETAPA DE REUTILIZACIÓN	COMPONENTE	TAREAS	FRECUENCIA	ENCARGADO
Recolección / Tratamiento / Almacenamiento / Distribución	Cableado eléctrico	- Comprobar visualmente su aislación.	Anualmente	Operador
	Tablero eléctrico	- Comprobar visualmente el estado de los componentes eléctricos.	Anualmente	Operador
		- Verificar el estado de las conexiones.	Anualmente	Operador
Recolección / Tratamiento / Almacenamiento / Distribución	Electroválvulas	- Comprobar visualmente que no existan fugas, atendiendo a su unión con los terminales HE.	Anualmente	Operador
		- Comprobar visualmente el estado de la armadura y la conexión al solenoide.	Anualmente	Operador
Recolección / Distribución	Tuberías	- Comprobar visualmente que no existan fugas, atendiendo a las inundaciones del suelo.	Mensualmente	Operador
Tratamiento	Filtro lento de arena	- Reemplazar todos los filtros naturales de arena gruesa, gravilla y carbón activado.	Anualmente	Operador
Tratamiento	Dosificador de cloro	- Verificar la operatividad del componente.	Mensualmente	Operador
		- Reponer la tableta de cloro, si es necesario.	Mensualmente	Operador
Tratamiento / Almacenamiento	Estanques	- Verificar que no existan fugas, ni acumulación de escombros.	Anualmente	Operador
		- Vaciar y limpiar cada unidad.	Anualmente	Operador
Tratamiento / Almacenamiento	Filtro de malla	- Retirar y limpiar, o reemplazar, si es necesario.	Anualmente	Operador
Tratamiento / Almacenamiento	Interruptores de nivel	- Verificar la operatividad del componente.	Anualmente	Operador
Almacenamiento / Distribución	Suministro de agua potable	- Constatar la presencia de agua potable de respaldo.	Anualmente	Operador
Distribución	Bomba centrífuga	- Comprobar visualmente que no existan fugas, atendiendo a las empaquetaduras.	Anualmente	Operador
		- Comprobar visualmente el estado de la armadura y la caja de bornes.	Anualmente	Operador

Fuente: Elaboración propia, basada en las condiciones operativas del sistema de reutilización; 2020.

CAPÍTULO 4 EVALUACIÓN FINANCIERA

4.1. APRECIACIÓN DE INVERSIÓN E INGRESOS

Realizar el diagnóstico económico de la propuesta de diseño, es sustancial para el posterior empleo de herramientas matemáticas que predigan el nivel de rentabilidad del proyecto. Es por ello que a continuación se desarrollan correlativamente los sub apartados involucrados en un flujo de caja simple, reuniendo la inversión que supone la fabricación, instalación y mantenimiento inicial del sistema domiciliario de reutilización de aguas grises, junto con el ingreso que se percibe por concepto de ahorro en el consumo de agua potable.

4.1.1. Costos de fabricación e instalación

Aunque posibles de analizar por separado, para fines prácticos se tomarán como un solo valor los costos asociados a la fabricación e instalación del proyecto. De esta manera, se establecerá primeramente una lista completa de los artículos necesarios para elaborar el sistema, detallando para cada uno, la cantidad, proveedor y valor comercial en pesos chilenos y unidades de fomento chilenas; para luego complementar con una lista de cuatro trabajadores los costos asociados a la mano de obra, definiendo las horas de trabajo necesarias y sueldo tentativo para cada una.

En perjuicio de lo anterior, es entonces que se genera la Tabla 4-1 para identificar el subtotal generado por la eventual compra de los artículos y materiales comerciales, considerando también un valor “aprox. de gastos operacionales” para cubrir –por ejemplo– el consumo de energía eléctrica, además de un “valor de resguardo” que corresponde al 5% del total de los costos mencionados y que servirá para absorber los gastos imprevistos.

Cabe mencionar, que a pesar de ser un proyecto estructuralmente no muy ambicioso, se requiere de igual manera una amplia gama de productos en su fabricación. No sólo por la cantidad de componentes funcionales que intervienen directamente el proceso de reutilización de agua grises, sino también por los materiales, adhesivos y demás elementos que se deben considerar para la construcción de artículos no comerciales (como es el caso de todos los estanques del sistema) y que según se aprecia, elevan considerablemente el presupuesto.

Tabla 4-1. Cotización. Materiales y artículos para la fabricación e instalación del proyecto

ÍTEM	PROVEEDOR	UNIDADES [ud]	COSTO POR UNIDAD [CLP/ud]	SUB TOTAL [CLP]	SUB TOTAL [UF]
Placas HDPE 1500x3000x5 [mm]	Plásticos Santiago	5	\$ 193.423	\$ 967.115	32,9
Adhesivo montaje High Tack 370 [gr]	Ceys	3	\$ 4.190	\$ 12.570	0,4
Cinta Polyken 930 0.89x50 [mm]	InexChile	2	\$ 16.500	\$ 33.000	1,1
Ángulo PVC 25x25x1000 [mm]	Arcansas	14	\$ 1.290	\$ 18.060	0,6
Manillas cromadas 4´´	Fixser	5	\$ 590	\$ 2.950	0,1
Cemento preparado H20 25 [Kg]	Solcrom	5	\$ 2.490	\$ 12.450	0,4
Pliego de filtro de malla 20 aper. 1,1 [mm]	LYthE	1	\$ 8.621	\$ 8.621	0,3
Tubería RTB2000 DN 20	Ampersand	1	\$ 858	\$ 858	0,0
Tubería RTB2500 DN 25	Ampersand	7	\$ 1.408	\$ 9.856	0,3
Ducto Conduit DN 20	Compex	11	\$ 580	\$ 6.380	0,2
Conexión tipo T REE2500 DN 25	Ampersand	1	\$ 334	\$ 334	0,0
Codo 90° RCC1200 DN 20	Ampersand	6	\$ 189	\$ 1.134	0,0
Codo 90° RCC2200 DN 25	Ampersand	10	\$ 258	\$ 2.580	0,1
Conexión HE RIM2010 DN 20	Ampersand	13	\$ 1.832	\$ 23.816	0,8
Conexión HI RIH2010 DN 20	Ampersand	11	\$ 1.104	\$ 12.144	0,4
Conexión HE RIM2510 DN 25	Ampersand	34	\$ 1.710	\$ 58.140	2,0
Conexión HI RIH2510 DN 25	Ampersand	14	\$ 1.322	\$ 18.508	0,6
Conexión HE RIM4010 DN 40	Ampersand	1	\$ 7.781	\$ 7.781	0,3
Conexión HI RIH4010 DN 40	Ampersand	1	\$ 6.674	\$ 6.674	0,2
Conexión 90° Conduit DN 20	Tigre	40	\$ 113	\$ 4.520	0,2
Salida de caja Conduit DN 20	Tigre	40	\$ 89	\$ 3.560	0,1
Válvula de bola DN 20	NGP	1	\$ 3.595	\$ 3.595	0,1
Válvula de admisión DN 20	Fluidmaster	1	\$ 12.690	\$ 12.690	0,4
Teflón premium 3/4´´ 50 [m]	Topex	2	\$ 2.690	\$ 5.380	0,2
Dosificador de cloro VLC/08 DN 40	Valac	1	\$ 29.274	\$ 29.274	1,0
Kit de riego subsuperficial DN 15	Energía-on	1	\$ 148.750	\$ 148.750	5,1
Gabinete tablero eléctrico IP65	Ferrelectrica	1	\$ 32.490	\$ 32.490	1,1
Regleta de conexión 6 [mm]	drl	5	\$ 1.690	\$ 8.450	0,3
Bomba centrífuga BTPm37	BESTFLOW	1	\$ 42.000	\$ 42.000	1,4
Interruptor de nivel 3m	PGIC	4	\$ 8.568	\$ 34.272	1,2
Electroválvula 2W200-20 DN 20	NUOER	1	\$ 11.524	\$ 11.524	0,4
Electroválvula 2W250-25 DN 25	NUOER	5	\$ 16.503	\$ 82.515	2,8
Electroválvula TF5000 DN 25	TF	2	\$ 19.046	\$ 38.092	1,3
Relé HH54P MY4NJ 4 NC + 4 NA	Muhao	9	\$ 1.400	\$ 12.600	0,4
Alambres NYA H07V-U R 100 [m]	Cocesa	1	\$ 15.360	\$ 15.360	0,5
Alambres NYA H07V-U W 100 [m]	Cocesa	1	\$ 15.360	\$ 15.360	0,5
Alambres NYA H07V-U G 100 [m]	Cocesa	1	\$ 15.360	\$ 15.360	0,5
APROX. GASTOS OPERACIONALES	-	-	-	\$ 100.000	3,4
VALOR DE RESGUARDO	-	-	-	\$ 90.938	3,1
			TOTAL	\$ 1.909.701	64,9

Fuente: Elaboración propia, basada en las ofertas comerciales de diciembre con Impuesto al Valor Agregado (IVA) incluido; 2020.

Respecto al recurso humano que se precisa para este sub apartado de inversión, la Tabla 4-2 reúne en sí el personal calificado para manipular toda la lista antes revisada, operando equipos naturales a su profesión, y pudiendo ser involucrados fácilmente en las faenas de construcción de una vivienda. Además –de igual manera que para el presupuesto anterior– se considerará un “valor de resguardo”, pero esta vez equivalente al 10% por eventuales modificaciones en los salarios acordados.

Tabla 4-2. Cotización. Recursos humanos para la fabricación e instalación del proyecto

ÍTEM	CANTIDAD	HORAS DE TRABAJO [hr]	SUELDO POR HORA DE TRABAJO [CLP/hr]	SUB TOTAL [CLP]	SUB TOTAL [UF]
Maestro plomero	1	63	\$ 3.385	\$ 213.255	7,3
Ayudante de maestro plomero	1	63	\$ 2.220	\$ 139.860	4,8
Técnico eléctrico	1	45	\$ 3.700	\$ 166.500	5,7
Ayudante de técnico eléctrico	1	45	\$ 2.460	\$ 110.700	3,8
VALOR DE RESGUARDO	-	-	-	\$ 63.032	2,1
TOTAL				\$ 693.347	23,6

Fuente: Elaboración propia, basado en lo publicado por el sitio web tusalario.org/chile; 2020.

4.1.2. Costos de mantenimiento

Un segundo valor a considerar para la inversión del proyecto, serán los costos referidos a un kit básico de mantenimiento para el sistema de reutilización de aguas grises. Este contempla una lista de cinco productos consumibles a lo largo de un año, y que son cuantificados en la Tabla 4-3, considerando un costo “aprox. de gastos operacionales” igual a \$10.000 mensuales y un “valor de resguardo” equivalente al 10%.

Tabla 4-3. Cotización. Materiales y artículos para el mantenimiento del proyecto

ÍTEM	PROVEEDOR	UNIDADES [ud]	COSTO POR UNIDAD [CLP/ud]	SUB TOTAL [CLP]	SUB TOTAL [UF]
Gravilla - saco 25 [Kg]	Áridos Caval	1	\$ 940	\$ 940	0,0
Arena gruesa - saco 25 [Kg]	Áridos Pier Gino	1	\$ 940	\$ 940	0,0
Carbón activado - saco 20 [Kg]	Fullventas	1	\$ 59.000	\$ 59.000	2,0
Carbón bituminoso - saco 15 [Kg]	Aguaplanet	1	\$ 32.990	\$ 32.990	1,1
Tabletas hipoclorito al 65% - pack 6 ud.	Valac	2	\$ 4.522	\$ 9.044	0,3
APROX. GASTOS OPERACIONALES	-	-	-	\$ 120.000	4,1
VALOR DE RESGUARDO	-	-	-	\$ 22.291	0,8
TOTAL				\$ 245.205	8,3

Fuente: Elaboración propia, basada en las ofertas comerciales de diciembre con Impuesto al Valor Agregado (IVA) incluido; 2020.

En vista de lo anterior, es que para términos del flujo de caja que se desarrollará, los costos referidos al mantenimiento se adicionarán anualmente.

4.1.3. Ingresos por concepto de ahorro

Los ingresos que percibirá el proyecto, se deben al ahorro económico que significa la gran disminución en el consumo de agua potable. Sin embargo, tal como se demuestra en la Tabla 4-4, este valor es bajísimo en comparación a los costos antes revisados y no hace justicia a los cerca de 3,8 [m³] que se dejarán de consumir mensualmente.

Tabla 4-4. Ingresos mensuales por concepto de ahorro en el consumo de agua potable

ÍTEM	PROVEEDOR	AHORRO MENSUAL [m3]	COSTO AGUA POTABLE [CLP/m3]	COSTO ALCANTARILLADO [CLP/m3]	SUB TOTAL [CLP]	SUB TOTAL [UF]
Agua potable destinada a la recarga del inodoro	Nueva Atacama	2,05	\$ 1.588	\$ 701	\$ 4.692	0,2
Agua potable destinada al riego subsuperficial del jardín	Nueva Atacama	1,70	\$ 1.588	\$ 701	\$ 3.891	0,1
TOTAL					\$ 8.583	0,3

Fuente: Elaboración propia, basada en lo publicado por el diario Chañarillo; 2020.

Cabe mencionar, que los costos por consumo de agua potable y uso de alcantarillado corresponden a los publicados oficialmente por el proveedor de estos servicios para la región de Atacama, en el diario Chañarillo, el día 03 de mayo del 2020 (Nueva Atacama, 2020); siendo el primero un promedio entre las tarifas de sobreconsumo y consumo en horarios de “punta” y “no punta” para la ciudad de Copiapó, mientras que el segundo corresponde al valor por uso de alcantarillado para la misma localidad.

4.1.4. Flujo de caja

Lo anteriormente visto por apartados, se condensa ahora en el flujo de caja de la Tabla 4-5. Allí es posible visualizar cuantitativamente los primeros giros que supondría el proyecto a lo largo de toda su vida útil: 15 años.

En cuanto a los valores de “depreciación” antes y después de los impuestos, se consideran despreciables debido a la magnitud de la inversión y el tiempo de proyección asignado. De igual manera, los impuestos serán igual a cero, pues se restringen y consideran implícitamente en los costos de fabricación, instalación y mantenimiento del sistema de reutilización de aguas grises.

A pesar de lo anterior, y tal como se aprecia en la Tabla 4-5, los ingresos por concepto de ahorro son insuficientes para siquiera suplir los gastos de mantenimiento anual, lo que se traduce en un “flujo acumulado” que no desciende sino hasta que el ajuste del IPC provoque –luego de muchísimos años– una utilidad entre el precio de los servicios de agua potable por sobre los bienes de mantenimiento; los que para este ejercicio se consideraron como un 3,3% y 2,7% (Datosmacro.com, 2020), respectivamente.

Tabla 4-5. Flujo de caja proyectado a quince años

PERIODO ANUAL	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
INGRESOS										
Ahorro	\$ -	\$ 102.998	\$ 106.397	\$ 109.908	\$ 113.535	\$ 117.282	\$ 121.152	\$ 125.150	\$ 129.280	\$ 133.546
COSTOS										
Mantenimiento	\$ -	- \$ 245.205	- \$ 251.826	- \$ 258.625	- \$ 265.608	- \$ 272.780	- \$ 280.145	- \$ 287.708	- \$ 295.477	- \$ 303.454
Depreciación	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Ut. Antes Imp.	\$ -	- \$ 142.207	- \$ 145.429	- \$ 148.717	- \$ 152.073	- \$ 155.498	- \$ 158.992	- \$ 162.558	- \$ 166.196	- \$ 169.908
Impuesto	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Ut. Después Imp.	\$ -	- \$ 142.207	- \$ 145.429	- \$ 148.717	- \$ 152.073	- \$ 155.498	- \$ 158.992	- \$ 162.558	- \$ 166.196	- \$ 169.908
Depreciación	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
INVERSIÓN										
Capital Fijo	- \$ 2.603.048	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Incentivo	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
FLUJO DE CAJA	- \$ 2.603.048	- \$ 142.207	- \$ 145.429	- \$ 148.717	- \$ 152.073	- \$ 155.498	- \$ 158.992	- \$ 162.558	- \$ 166.196	- \$ 169.908
FLUJO ACUM.	- \$ 2.603.048	- \$ 2.745.255	- \$ 2.890.684	- \$ 3.039.401	- \$ 3.191.473	- \$ 3.346.971	- \$ 3.505.963	- \$ 3.668.522	- \$ 3.834.718	- \$ 4.004.626
PERIODO ANUAL	10	11	12	13	14	15				
INGRESOS										
Ahorro	\$ 137.954	\$ 142.506	\$ 147.209	\$ 152.067	\$ 157.085	\$ 162.269				
COSTOS										
Mantenimiento	- \$ 311.648	- \$ 320.062	- \$ 328.704	- \$ 337.579	- \$ 346.694	- \$ 356.054				
Depreciación	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
Ut. Antes Imp.	- \$ 173.694	- \$ 177.556	- \$ 181.495	- \$ 185.512	- \$ 189.609	- \$ 193.786				
Impuesto	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
Ut. Después Imp.	- \$ 173.694	- \$ 177.556	- \$ 181.495	- \$ 185.512	- \$ 189.609	- \$ 193.786				
Depreciación	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
INVERSIÓN										
Capital Fijo	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
Incentivo	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
FLUJO DE CAJA	- \$ 173.694	- \$ 177.556	- \$ 181.495	- \$ 185.512	- \$ 189.609	- \$ 193.786				
FLUJO ACUM.	- \$ 4.178.320	- \$ 4.355.877	- \$ 4.537.372	- \$ 4.722.884	- \$ 4.912.493	- \$ 5.106.279				

Fuente: Elaboración propia, basada en los ingresos por concepto de ahorro y los costos por fabricación, instalación y mantenimiento del proyecto; 2020.

4.2. ALTERNATIVAS DE INVERSIÓN

Para suplir todos los costos que suponen la inversión inicial (por fabricación e instalación del proyecto) y anual (por mantenimiento del proyecto), es que se postulan y comparan tres opciones de inversión, fundamentado el análisis en una adaptación de la herramienta de matemáticas financieras para el cálculo del Valor Actual Neto (VAN): la Fórmula 4-1.

Fórmula 4-1. Adaptación. Cálculo de valor actual neto

$$VAN = \sum_{PA=0}^n \frac{FC}{(1+i)^{PA}}$$

Donde:

VAN: valor actual neto [\$].

FC: flujo de caja por periodo anual [\$].

i: tasa de actualización o descuento.

PA: periodo anual.

n: vida útil del proyecto.

En perjuicio de lo anterior y de acuerdo a los valores que corresponda para cada alternativa, es entonces que se desplegará una tabla que contenga el desarrollo matemático de cada numerador y denominador de la sumatoria.

4.2.1. Recursos particulares

La primera opción para financiar el sistema domiciliario de reutilización de aguas grises, corresponde al capital proveniente de recursos particulares; tanto de personas naturales, como jurídicas. Esta proyección se desarrolla en la Tabla 4-6 y considera una tasa de actualización igual al 2,0%.

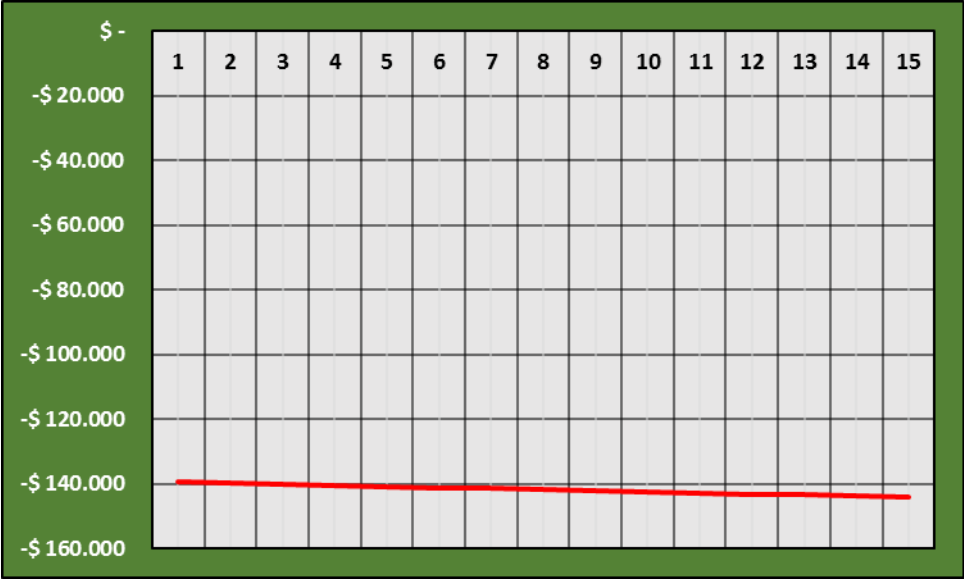
Tabla 4-6. Recursos particulares. Valor actual neto para recursos particulares

PERIODO ANUAL (PA)	FLUJO DE CAJA (FC)	(1+i)^PA	FC/((1+i)^PA)
0	-\$ 2.603.048	1,000	-\$ 2.603.048
1	-\$ 142.207	1,020	-\$ 139.419
2	-\$ 145.429	1,040	-\$ 139.782
3	-\$ 148.717	1,061	-\$ 140.139
4	-\$ 152.073	1,082	-\$ 140.492
5	-\$ 155.498	1,104	-\$ 140.839
6	-\$ 158.992	1,126	-\$ 141.181
7	-\$ 162.558	1,149	-\$ 141.517
8	-\$ 166.196	1,172	-\$ 141.847
9	-\$ 169.908	1,195	-\$ 142.171
10	-\$ 173.694	1,219	-\$ 142.490
11	-\$ 177.556	1,243	-\$ 142.802
12	-\$ 181.495	1,268	-\$ 143.108
13	-\$ 185.512	1,294	-\$ 143.407
14	-\$ 189.609	1,319	-\$ 143.700
15	-\$ 193.786	1,346	-\$ 143.986
TASA DE ACTUALIZACIÓN (i)	2,0%	VALOR ACTUAL NETO	-\$ 4.729.926

Fuente: Elaboración propia, basada en la Tabla 4-5 para una tasa de actualización igual a 2,0%; 2020.

Además, se genera –tal como en los siguientes sub apartados– un gráfico de líneas que facilita visualmente el análisis, asignando a cada periodo anual su valor actualizado. La primera de estas láminas corresponde al Gráfico 4-1.

Gráfico 4-1. Recursos particulares. Valores actualizados según periodo anual



Fuente: Elaboración propia, basada en los valores actualizados por periodo anual para recursos particulares; 2020.

4.2.2. Préstamo de consumo

Para personas naturales, la segunda opción para saldar el financiamiento del proyecto es por medio de un préstamo de consumo. Este se cotizará por un monto de \$3.000.000, con un pago de cuota mensual, percibiendo –según lo visto en el segundo capítulo, en su apartado 2.1.1.– un ingreso per cápita de \$352.743. De esta manera, la Tabla 4-7 considera para el cálculo del valor actual neto, un interés del 19,4% para el mes de diciembre del año 2020 (Banco Central de Chile, 2020).

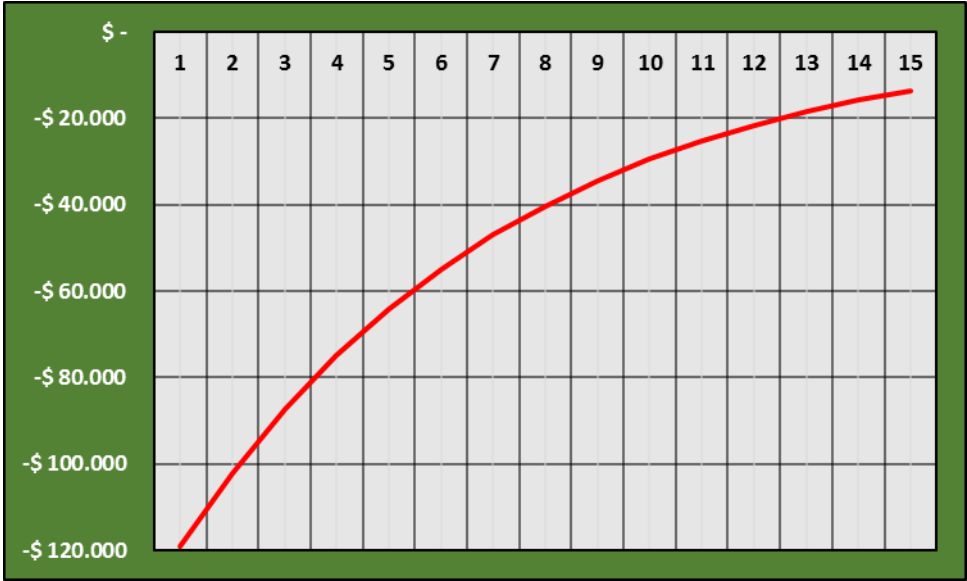
Tabla 4-7. Préstamo de consumo. Valor actual neto para préstamo de consumo

PERIODO ANUAL (PA)	FLUJO DE CAJA (FC)	(1+i)^PA	FC/((1+i)^PA)
0	-\$ 2.603.048	1,000	-\$ 2.603.048
1	-\$ 142.207	1,194	-\$ 119.101
2	-\$ 145.429	1,426	-\$ 102.010
3	-\$ 148.717	1,702	-\$ 87.367
4	-\$ 152.073	2,032	-\$ 74.823
5	-\$ 155.498	2,427	-\$ 64.077
6	-\$ 158.992	2,898	-\$ 54.872
7	-\$ 162.558	3,460	-\$ 46.987
8	-\$ 166.196	4,131	-\$ 40.233
9	-\$ 169.908	4,932	-\$ 34.449
10	-\$ 173.694	5,889	-\$ 29.495
11	-\$ 177.556	7,031	-\$ 25.252
12	-\$ 181.495	8,396	-\$ 21.618
13	-\$ 185.512	10,024	-\$ 18.506
14	-\$ 189.609	11,969	-\$ 15.842
15	-\$ 193.786	14,291	-\$ 13.560
TASA DE ACTUALIZACIÓN (i)	19,4%	VALOR ACTUAL NETO	-\$ 3.351.239

Fuente: Elaboración propia, basada en la Tabla 4-5 para una tasa de actualización igual a 19,4%; 2020.

Conforme a la significativa diferencia entre esta tasa de descuento y la anterior, el Gráfico 4-2 ilustra una curva cada vez más cercana a valores de actualización nulos para los últimos periodos anuales de rendimiento; sin embargo, aún no es suficiente para generar siquiera un equilibrio entre ingresos y costos.

Gráfico 4-3. Préstamo de consumo. Valores actualizados según periodo anual



Fuente: Elaboración propia, basada en los valores actualizados por periodo anual para préstamo de consumo; 2020.

4.2.3. Crédito comercial

Para personas jurídicas, una eventual alternativa de financiamiento será la del crédito comercial. De esta manera, aunque no es posible realizar una cotización realista para la tramitación, se considera en la Tabla 4-8 una tasa de interés igual a 5,0% para el mes de diciembre del año 2020 (Banco Central de Chile, 2020).

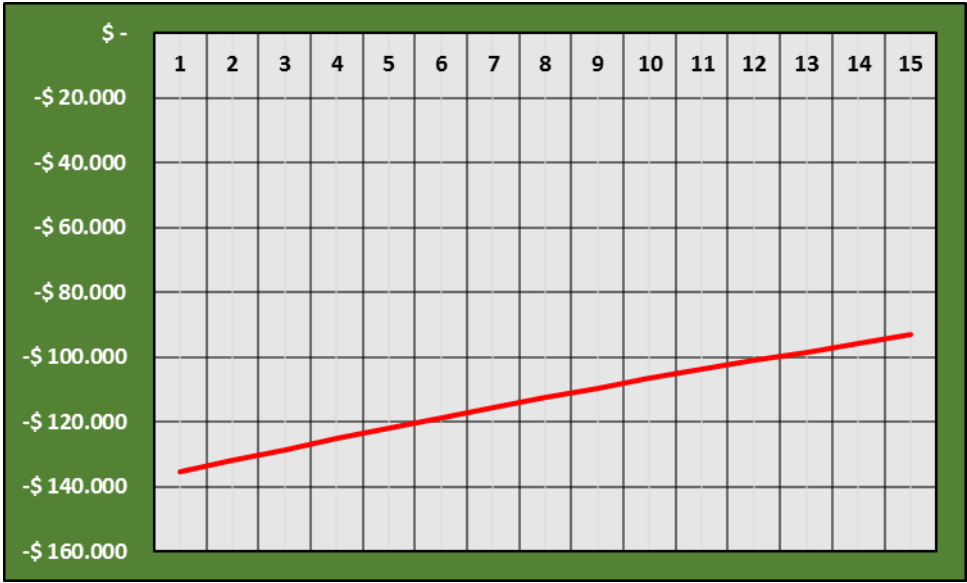
Tabla 4-9. Crédito comercial. Valor actual neto para crédito comercial

PERIODO ANUAL (PA)	FLUJO DE CAJA (FC)	$(1+i)^{PA}$	$FC/((1+i)^{PA})$
0	-\$ 2.603.048	1,000	-\$ 2.603.048
1	-\$ 142.207	1,050	-\$ 135.435
2	-\$ 145.429	1,103	-\$ 131.908
3	-\$ 148.717	1,158	-\$ 128.467
4	-\$ 152.073	1,216	-\$ 125.111
5	-\$ 155.498	1,276	-\$ 121.836
6	-\$ 158.992	1,340	-\$ 118.643
7	-\$ 162.558	1,407	-\$ 115.527
8	-\$ 166.196	1,477	-\$ 112.488
9	-\$ 169.908	1,551	-\$ 109.524
10	-\$ 173.694	1,629	-\$ 106.633
11	-\$ 177.556	1,710	-\$ 103.813
12	-\$ 181.495	1,796	-\$ 101.063
13	-\$ 185.512	1,886	-\$ 98.381
14	-\$ 189.609	1,980	-\$ 95.765
15	-\$ 193.786	2,079	-\$ 93.214
TASA DE ACTUALIZACIÓN (i)	5,0%	VALOR ACTUAL NETO	-\$ 4.300.859

Fuente: Elaboración propia, basada en la Tabla 4-5 para una tasa de actualización igual a 5,0%; 2020.

Visto lo anterior, se construye el Gráfico 4-3 para mostrar una curva intermedia entre las dos opciones antes mencionadas, siendo incapaz de remediar la rentabilidad del proyecto.

Gráfico 4-5. Crédito comercial. Valores actualizados según periodo anual



Fuente: Elaboración propia, basada en los valores actualizados por periodo anual para crédito comercial; 2020.

4.3. CONSIDERACIONES FINALES

Lamentablemente, en vista de todas las proyecciones ya desarrolladas, se vuelve imposible continuar con el pronóstico típico que sigue al cálculo del Valor Actual Neto (VAN): la determinación de la Tasa Interna de Retorno (TIR). Esto se debe principalmente a las condiciones en que se encuentra sometida la propuesta de diseño, contemplando un periodo de vida útil que en ningún caso igualará a cero el Valor Actual Neto (VAN), sea la alternativa de inversión que sea. Por tanto, lo único pertinente será cerrar el presente análisis financiero estableciendo dos consideraciones finales.

Primero, es evidente que la propuesta de diseño en cuestión no es rentable, trágicamente no por una pequeña diferencia de cálculos, sino que contundentemente es inviable si el objetivo final es recuperar la inversión inicial. Esto obedece a lo sugerido en el primer apartado (Ver Tabla 4-5), donde luego de una cantidad indefinida de tiempo existiría una diferencia positiva entre el ingreso por concepto de ahorro y los costos anuales de mantenimiento. Sin embargo, esta ganancia –aunque creciente en el tiempo– no cubrirá en un periodo razonable la inversión total que también actualizará su valor.

Una segunda y última consideración se refiere a la eventual estabilización y disminución en los costos de inversión inicial y mantenimiento, respectivamente;

acompañado de un importante aumento en los ingresos por concepto de ahorro, previendo un categórico descenso en la oferta mundial de agua potable, que resultaría en valores por volumen ([CLP/m³]) mucho más elevados. Aquellos cambios en las variables podrían generar una importante utilidad en periodos menores de tiempo, pero ante la incertidumbre de aquellas circunstancias es mejor la cautela y seguir con el veredicto del párrafo anterior.

Todo lo evaluado entonces, da correcto fin al cuarto capítulo y sirve como un antecedente determinante para el último acápite.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Cuatro son las principales conclusiones que sintetizan la normalización, caracterización, diseño y evaluación de la propuesta de diseño desarrollada. Cada una referente a un objetivo específico, en el orden que sigue.

Primero, se concluye a la luz del análisis efectuado en el primer capítulo, que la normativa nacional disponible a la fecha de entrega de este escrito, es incapaz de fomentar eficazmente el manejo sustentable del agua potable en Chile; pues no sólo requiere ser complementada por documentos externos a la entidad gubernamental, sino que además impone a los sistemas de reutilización de aguas grises, una serie de limitantes que hacen inviable su implementación a pequeña escala. Lamentablemente, al ser necesario adquirir componentes que incluso no son comercializados en el país –pero que la legislación exige–, los costos de fabricación, instalación y mantenimiento se elevan de manera incontrolable, promoviendo indirectamente la construcción de proyectos clandestinos o derechamente incumpliendo el propósito que la misma ley en cuestión pretende asir: “ahorrar y reutilizar el vital elemento” (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2018).

En segundo lugar, se concluye que existe suficiente justificación para la creación de este tipo de proyectos en suelo nacional, pues la exitosa identificación de las condiciones de operación desenvueltas en el segundo capítulo, aterrizaron indefectiblemente a nivel regional una realidad mundial: cada vez hay mayor estrés hídrico. Esto es especialmente complejo para Chile, donde a pesar de ser considerado uno de los países con mayor disponibilidad de agua superficial (World Bank, 2010), existen regiones –como Atacama, y su capital Copiapó– con una tasa de estrés hídrico extremo; precisando con urgencia, de estrategias de gestión que contemplen el uso de sistemas de reutilización tan efectivos como el diseñado.

En tercera instancia, es posible concluir con la obtención de un sistema de reutilización de aguas grises completamente original, con una infraestructura distintiva que prioriza el flujo gravitacional, y una prestación de servicios domiciliarios poco común en el mercado nacional. Además, su diseño se ajusta a la normativa vigente, materializándose en una serie de planos bidimensionales que estipulan su construcción y un modelado tridimensional que proyecta su implementación en una vivienda comercial de 60 [m²].

En cuarto lugar, revisando el análisis financiero de la propuesta de diseño, es correcto concluir que esta no es rentable. Desafortunadamente, el cumplimiento de todos los párrafos precedentes resulta en la inviabilidad económica del proyecto; puesto que a pesar de ser tratada su potencial aplicación en una de las regiones con mayor costo por volumen de agua potable ([CLP/m³]) del país, los ingresos por concepto de ahorro (3,5 [UF] anuales) son insuficientes para cubrir todos los gastos que supone su implementación

(88,5 [UF] en fabricación e instalación, y 8,3 [UF] en mantenimiento anual), al menos a la escala domiciliaria unifamiliar en la que se formuló.

Culminando, y en perjuicio de todo lo anterior, se proponen dos importantes aportes que darán lugar a las últimas recomendaciones, tal como continúa.

Quienes evalúen la viabilidad de algún sistema de reutilización de aguas grises, podrán servirse de este trabajo para comprobar que a grado domiciliario individual, ninguno con estas características de servicio será rentable. Sin embargo, se recomienda considerar un aumento de la magnitud del proyecto hasta niveles colectivos, los cuales sí se han hallado rentables según un variado número de pronósticos; entre ellos: “Diseño de Sistema de Reutilización de Aguas Grises para Mejorar Eficiencia de Consumo en Uso Residencial en Papudo” (Pizzorno, 2016), “Evaluación, Diseño e Implementación de Colectores Solares para las Duchas del Edificio R, y Reciclaje de Aguas Jabonosas para el Riego de la Cancha de Fútbol de la Sede José Miguel Carrera, UTFSM” (Freire, 2017) y “Estudio de Prefactibilidad Técnico Económica para la Captación y Reutilización de Aguas Grises y Pluviales en Proyectos Inmobiliarios” (Lorca, 2018). Todos, trabajos de titulación en esta misma casa de estudios.

Finalmente, el presente escrito consolidará sus prestaciones si es que se vuelve a él para consultar la aplicación total o parcial de su propuesta de diseño, estando siempre disponible para servir a quienes procuren variar sus alcances, extrapolar su implementación, modificar su funcionamiento, aumentar su automatización, reducir sus costos, o simplemente utilizar las fórmulas genéricas contenidas en los ANEXOS A y B que fueron ideadas para ese fin. Con todo, el trabajo desarrollado será –aunque perfectible– un buen aporte.

BIBLIOGRAFÍA

GUEVARA, Armando, et. al. El Derecho frente a la Crisis del Agua en el Perú [en línea]. <<http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/47039/El%20Derecho%20frente%20a%20la%20crisi%20del%20agua%20en%20el%20Per%c3%ba.%20OVERSI%c3%93N%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. [consulta: 14 de enero de 2021].

ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO (OCDE). Environmental Outlook to 2050 [en línea]. <<https://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/49846090.pdf>>. [consulta: 14 de enero de 2021].

EMBID, Antonio, et. al. Cambio climático y Recursos hídricos. Aspectos jurídicos. Universidad Externado de Colombia. 2010.

SUÁREZ, Joaquín, et. al. El reciclaje de Aguas Grises como Complemento a las Estrategias de Gestión Sostenible del agua en el Medio Rural [en línea]. <https://www.researchgate.net/publication/324039859_El_reciclaje_de_aguas_grises_como_complemento_a_las_estrategias_de_gestion_sostenible_del_agua_en_el_medio_rural>. [consulta: 14 de enero de 2021].

ALLEN, Lucy, CHRISTIAN-SMITH, Juliet y PALANIAPPAN, Meena. Overview of Greywater Reuse: The Potential of Greywater Systems to Aid Sustainable Water Management. [en línea]. <https://pacinst.org/wp-content/uploads/2010/11/greywater_overview3.pdf>. [consulta: 14 de enero de 2021].

NOLDE, Erwin. Greywater Recycling Systems in Germany – Results, Experiences and Guidelines [en línea]. <https://www.researchgate.net/publication/7657082_Greywater_recycling_systems_in_Germany_-_Results_experiences_and_guidelines>. [consulta: 14 de enero de 2021].

POWER, Kaye. The adoption of the Australian Water Recycling Guidelines by Regulators with Specific Reference to Treatment Validation Requirement [en línea]. <https://www.researchgate.net/publication/47510105_The_adoption_of_the_Australian_Water_Recycling_Guidelines_by_regulators_with_specific_reference_to_treatment_validation_requirements>. [consulta: 14 de enero de 2021].

AHUMADA, Gerardo y ROJAS, Néstor. ¿Por qué aprovechar las Aguas Grises? [en línea]. AIDIS Chile, 2017 (54). <<https://issuu.com/pablocarrasco99/docs/revista-aidis-2017>>. [consulta: 14 de enero de 2021].

LEY N° 21.075: Regula la Recolección, Reutilización y Disposición de Aguas Grises. Diario oficial de la República de Chile. Santiago, 15 de febrero de 2018.

MINISTERIO DE SALUD DEL GOBIERNO DE CHILE. Proyecto de Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises. 2018.

BRITHIS STANDARDS INSTITUTION. Sistemas de Aguas Grises: Código de Práctica. BS 8525-1:2010. Junio, 2010.

BRITHIS STANDARDS INSTITUTION. Sistemas de Aguas Grises: Aguas Grises Domésticas, Equipo de Tratamiento, Requisitos y Métodos de Prueba. BS 8525-2:2011. Agosto, 2011.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS). Guía para Diseño de Sistemas de Tratamiento de Filtración en Múltiples Etapas [en línea]. <<http://www.elaguapotable.com/Guia%20dise%C3%B1o%20filtraci%C3%B3n%20en%20m%C3%BAltiples%20etapas.pdf>>. [consulta: 14 de enero de 2021].

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO DEL GOBIERNO DE CHILE. Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas de Chile: Tomo III Agua. 2018.

JIMENO, Pamela. Zoom a los Hogares por Quintil de Ingresos [en línea]. La Tercera. 08 de Enero, 2017. <<https://www.latercera.com/noticia/zoom-los-hogares-quintil-ingresos>>. [consulta: 14 de enero de 2021].

ANÓNIMO. Deciles de Ingreso en Chile 2020 / 2021 [en línea]. Quieromibeca.com. 21 de Abril, 2020 <<http://quieromibeca.com/chile/deciles-de-ingreso-en-chile>> [consulta: 14 de enero de 2021].

GBCE. Guía del Evaluador Acreditado [en línea]. <<https://docplayer.es/12378882-Verde-ne-equipamiento-guia-para-el-evaluador-acreditado-nueva-edificacion-equipamiento.html>>. [consulta: 14 de enero de 2021].

FRANCO, María. Tratamiento y Reutilización de Aguas Grises con Aplicación a Caso en Chile. Memoria (Ingeniero Civil). Santiago, Chile: Universidad de Chile. 2007.

LI, Fangyue y OTTERPOHL, Ralf. Review of the Technological Approaches for Grey Water Treatment and Reuses [en línea]. <https://www.researchgate.net/publication/24145844_Review_of_the_technological_approaches_for_grey_water_treatment_and_reuses>. [consulta: 14 de enero de 2021].

NUEVA ATACAMA S.A. Comunicado [en línea]. Diario Chañarcillo. 2020. <<http://www.chanarcillo.cl/wp-content/uploads/2020/05/EDICION-PDF-domingo-3-de-mayo-1.pdf>>. [consulta: 14 de enero de 2021].

ANÓNIMO. IPC de Chile [en línea]. Datosmacro.com. Noviembre, 2020. <<https://datosmacro.expansion.com/ipcpaises/chile#:~:text=La%20tasa%20de%20variación%20anual,es%20del%202%2C6%25>>. [consulta: 14 de enero de 2021].

BANCO CENTRAL DE CHILE. Informe Mensual de Estadísticas Monetarias y Financieras [en línea]. <https://www.bcentral.cl/documents/33528/133416/emf_122020.pdf/4f7ecb9d-f1fc-f3d7-9b9d-2bc01f180736?t=1610027174683>. [consulta: 14 de enero de 2021].

BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE. Ley N° 21.075: Regula la Recolección, Reutilización y Disposición de Aguas Grises [en línea]. <<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1115066>>. [consulta: 18 de enero de 2021].

WORLD BANK. World Development Indicators 2010 [en línea]. <<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/4373>>. [consulta: 18 de enero de 2021].

PIZZORNO, Elías. Diseño de Sistema de Reutilización de Aguas Grises para Mejorar Eficiencia de Consumo en Uso Residencial en Papudo. Memoria (Ingeniero de Ejecución en Mecánica de Procesos y Mantenimiento Industrial). Valparaíso, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María. 2016.

FREIRE, Israel. Evaluación, Diseño e Implementación de Colectores Solares para las Duchas del Edificio R, y Reciclaje de Aguas Jabonosas para el Riego de la Cancha de Fútbol de la Sede José Miguel Carrera. Memoria (Ingeniero de Ejecución en Mecánica de Procesos y Mantenimiento Industrial). Valparaíso, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María. 2017.

LORCA, Bruno. Estudio de Prefactibilidad Técnico Económica para la Captación y Reutilización de Aguas Grises y Pluviales en Proyectos Inmobiliarios. Memoria (Ingeniero Constructor licenciado en Ingeniería). Valparaíso, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María. 2018.

ANEXOS

A: FÓRMULA PARA LA DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN MENSUAL DE AGUAS GRISES GENERADAS POR EL USO DE UNA DUCHA, UN LAVAMANOS Y UNA LAVADORA

$$V_{m.ag} = 4,5 [n_p (Q_d t_d S_d \times Q_{lm} t_{lm} S_{lm.p})] + 4,5 [n_t (Q_{lm} t_{lm} S_{lm.t})] + 4,5 (C_{lv} S_{lv})$$

Donde:

V_{m.ag}: volumen mensual de aguas grises generadas por el uso de una ducha, un lavamanos y una lavadora [L].

n_p: número de personas que comparten la vivienda permanentemente.

n_t: número de personas que comparten la vivienda transitoriamente.

Q_d: caudal promedio de agua potable suministrado por la ducha [L/min].

Q_{lm}: caudal promedio de agua potable suministrado por el lavamanos [L/min].

t_d: tiempo de uso típico para la ducha [min].

t_{lm}: tiempo de uso típico para el lavamanos [min].

S_d: factor de uso típico de la ducha en una semana.

S_{lm.p}: factor de uso típico del lavamanos en una semana, por usuarios permanentes.

S_{lm.t}: factor de uso típico del lavamanos en una semana, por visitantes.

C_{lv}: consumo típico de la lavadora por ciclo [L/ciclo].

S_{lv}: factor típico de ciclos de lavado en una semana [ciclos].

B: FÓRMULA PARA LA DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN MENSUAL DE AGUAS GRISES TRATADAS DEMANDADO POR UN INODORO

$$V_{wc.m} = 4,5 [n_{p.h}(D_{wc}S_{p.wc.h}) + n_{p.m}(D_{wc}S_{p.wc.m})] + 4,5 [n_{t.h}(D_{wc}S_{t.wc.h}) + n_{t.m}(D_{wc}S_{t.wc.m})]$$

Donde:

V_{wc.m}: volumen mensual de aguas grises tratadas demandado por un inodoro [L].

n_{p.h}: número de hombres que comparten la vivienda permanentemente.

n_{p.m}: número de mujeres que comparten la vivienda permanentemente.

n_{t.h}: número de hombres que comparten la vivienda transitoriamente.

n_{t.m}: número de mujeres que comparten la vivienda transitoriamente.

D_{wc}: volumen típico de agua potable suministrado por el inodoro en una descarga [L/descarga].

S_{p.wc.h}: Uso típico del inodoro en una semana, por un habitante permanente hombre [descarga].

S_{p.wc.m}: Uso típico del inodoro en una semana, por una habitante permanente mujer [descarga].

S_{t.wc.h}: Uso típico del inodoro en una semana, por un habitante transitorio hombre [descarga].

S_{t.wc.m}: Uso típico del inodoro en una semana, por una habitante transitorio mujer [descarga].

C: CALIDAD DE AGUAS GRISES SEGÚN DIVERSOS TIPOS DE TRATAMIENTO

Reference	Process	TSS		Turbidity		COD		BOD		TN		TP		Total coliform		Faecal coliform	
		(mg/l)		(NTU)		(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)		(cfu/100 ml)		(cfu/100 ml)	
		In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out
Gerba et al. (1995)	Cartridge filter	19	8 V	21	7 X	-	-	-	-	-	-	-	-	2 × 10 ⁸	2 × 10 ⁶	-	-
Ward (2000)	Sand filter + Membrane + Disinfection	-	-	18	0 V	65	18	23	8 V	-	-	-	-	-	-	-	-
Brewer et al. (2000)	Filtration + Disinfection	-	-	21	7 X	157	47	-	-	-	-	-	-	2 × 10 ⁵	13 V	-	-
CHMC (2002)	Screening + Sedimentation + Multi-media filter + Ozonation	67	21 V	82	26 X	-	-	130	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hills et al. (2003)	Coarse filtration + Disinfection		35 V		40 X		166		40 X						ND V		
March et al. (2004)	Screening + Sedimentation + Disinfection	44	19 V	20	17 X	171	78	-	-	11.4	7.1	-	-	-	-	-	-
Itayama et al. (2004)	Soil filter	105	23 V	-	-	271	40.6	477	81 X	20.7	4.4	3.8	0.6	-	-	-	-
Ramon et al. (2004)	UF membranes (400 kDa)	-	-	18	1.4 V	146	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	UF membranes (200 kDa)	-	-	17	1 V	146	74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	UF membranes (30 kDa)	-	-	24	0.8 V	165	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sostar-Turk et al. (2005)	UF membrane	35	18 V	-	-	280	130	195	86 X	-	-	-	-	-	-	-	-
	NF membrane	28	0 V	30	1 V	226	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	RO membrane	18	0** V	-	-	130	3	86	2 V	-	-	-	-	-	-	-	-
Prathapar et al. (2006)	Filtration + Activated carbon + Sand filter + Disinfection	9	4 V	13	6 X	51	35	-	-	-	-	-	-	>200	0 V	-	-
Birks (1998)	UF membrane	-	-	-	-	451	117	274	53 X	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Review of the Technological Approaches for Grey Water Treatment and Reuses, 2009.

D: RENDERIZADO DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE LA PROPUESTA DE DISEÑO

**E: PLANOS DE CONJUNTO, SUBCONJUNTOS Y DESPIECES DE LA
PROPUESTA DE DISEÑO**

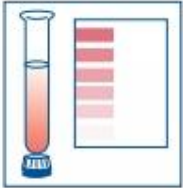
**E: INSTRUCTIVO PARA EL USO DEL COMPARADOR COLORIMÉTRICO
“CLOR-DETECTOR”**



COMPARADOR COLORIMETRICO

CLOR-DETECTOR

APARATO SEMICUANTITATIVO APTO PARA DETERMINAR
PRESENCIA DE CLORO LIBRE RESIDUAL EN AGUA



Método Químico : DPD # 1

Escala Lectura : 0,1 - 0,2 - 0,4 - 0,6 - 0,8 -1,0 ppm

Precauciones : Mantenga el reactivo y demás accesorios en lugar
seco y oscuro, fuera del alcance de los niños

INSTRUCCIONES DE MANEJO

1. Enjuague cuidadosamente el tubo y tapón con el agua que se ha de muestrear.

2. Llenar 3/4 partes del tubo con el agua a muestrear, evitando tocar los bordes del tubo con los dedos (Fig. 1 en retiro).

3. Corte un extremo del estuche con reactivo DPD # 1 y vierta el contenido dentro del tubo con agua (Fig. 2 en retiro).

4. Tape el tubo con el reverso de la tapa, agite la muestra, deje reposar 10 seg.; el agua adquirirá un color rosado característico ante la presencia de cloro.

5. Destape el tubo y coloque la tapa en su reverso en la base del tubo. Sujete el tubo desde la tapa son el índice y pulgar (Fig. 3 en retiro).

6. Compare el color de la muestra, colocando la tarjeta CLOR-DETECTOR horizontal al tubo a la altura del agua coloreada, y por semejanza de color determine cantidad de cloro presente en el agua muestreada (Fig. 4 en retiro).

7. Terminada la lectura vacíe y enjuague el tubo y tapón. **No** guarde el tubo con la muestra de agua coloreada.

8. Para mayor información dirigirse a nuestras oficinas ubicadas en Temuco.

VALAC®

División Tratamientos de Agua

infotec@valac.cl

www.valac.cl

Fuente: basada en los valores actualizados por periodo anual para recursos particulares; 2020.

VALAC®

COMPARADOR COLORIMETRICO
CLOR-DETECTOR

APARATO SEMICUANTITATIVO APTO PARA DETERMINAR
PRESENCIA DE CLORO LIBRE RESIDUAL EN AGUA

Fig. 1



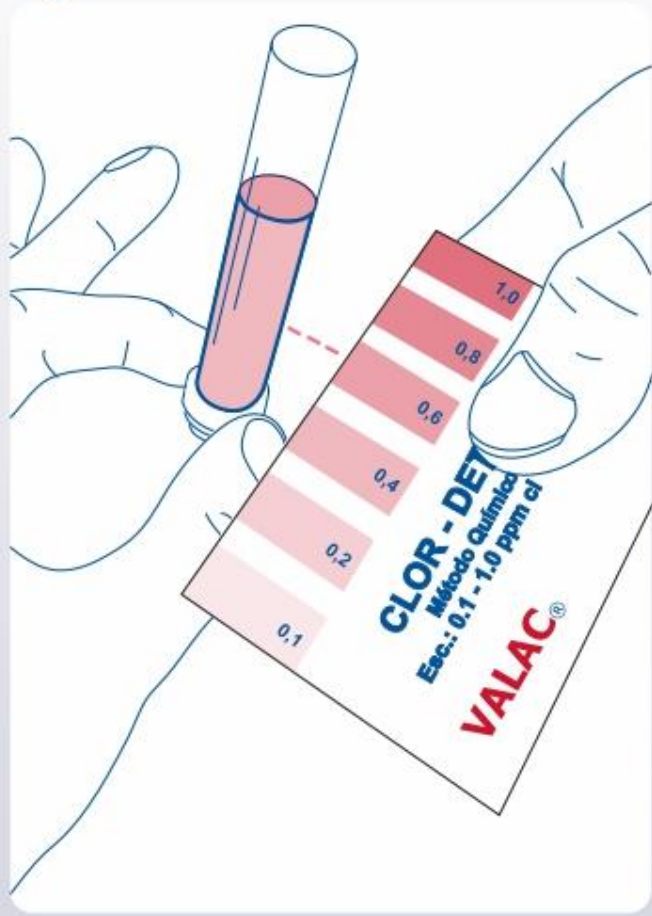
Fig. 2



Fig. 3



Fig. 4



Fuente: basada en los valores actualizados por periodo anual para recursos particulares; 2020.