

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



“TESIS”

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECICLADO DE AGUAS
GRISES Y SU APROVECHAMIENTO PARA UN DESARROLLO
SOSTENIBLE EN UNA VIVIENDA MULTIFAMILIAR DE DOCE
PISOS EN LA CIUDAD DE TACNA, 2017”**

**PARA OPTAR:
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:
BACH. ING. PAOLO JESÚS LOZA DELGADO**

TACNA – PERÚ

2017

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo y mi carrera a la persona más importante
que conocí y ame en mi vida, Nelly Terrazas Rivero.

Abuelita te prometí que sería ingeniero, y lo cumplí.

Sé que me observas y cuidas de mí desde el cielo, espero
que estés muy orgullosa, este regalo es para ti.

AGRADECIMIENTO

A Dios por concederme la vida

A mis padres por que creyeron en mí, ya que siempre estuvieron impulsándome y apoyándome en todo momento de mi carrera, su empuje me hizo llegar hasta el final. Va para ellos mi profunda admiración.

A mí adorada hermanita por ser mi compañera de toda la vida

A mi asesor Dr.Cs. Ing. Noribal Zegarra Alvarado por sus sabios consejos y hacerme entender que tenemos que proteger el recurso más importante del planeta, el agua.

A mí enamorada Merly por su amor y apoyo brindado

Gracias a todos ustedes, gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.2.	OBJETIVOS	6
1.2.1	Objetivo General	6
1.2.2	Objetivos Específicos	6
1.3.	FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	6
1.3.1.	Hipótesis General	6
1.3.2.	Hipótesis Específicas.....	6
1.4.	JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	7
1.5.	DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	8

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES HISTORICOS

2.1.1.	Las aguas residuales en el Perú	10
2.1.2.	Producción de aguas residuales en el Perú.....	13
2.1.3.	Concepto de aguas grises	15
2.1.4.	Características físicas, químicas y biológicas de las aguas grises	15
2.1.5.	La tecnología en el tratamiento para adquirir los estándares de calidad	20

2.2. ANTECEDENTES LEGALES O NORMATIVOS

2.2.1.	Marco legal para aguas residuales en el Perú	24
2.2.2.	Límites máximos permisibles (LMP)	27
2.2.3.	Estándares de calidad del agua (ECA)	28

CAPITULO III: DISEÑO METODOLOGICO

3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	31
3.2.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	31
3.3.	VARIABLES	31
3.3.1.	Variable Dependiente-Indicadores	31
3.3.2.	Variable Independiente-indicadores.....	31
3.4.	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	32
3.4.1.	Metodología	32
3.4.2.	Población	32
3.4.3.	Muestra	32
3.4.4.	Ámbito de estudio	32

CAPITULO IV: DESARROLLO DEL ESTUDIO

4.1. ANÁLISIS DE LUGAR

4.1.1.	Aspectos de diseño	34
4.1.2.	Criterios de diseño	35
4.1.3.	Criterios de instalación	37

4.2 MEDICIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE AGUAS GRISES

4.2.1.	Características de vivienda multifamiliar	39
4.2.2.	Consumo de agua potable en la vivienda	40
4.2.3.	Producción de aguas grises	42
4.2.4.	Revisión y análisis de las características de las aguas grises según Niño y Martínez	45

4.3 DISEÑO DEL SISTEMA EN EL EDIFICIO

4.3.1.	Volumen de agua gris en el edificio	48
4.3.2.	Volumen de consumo en los puntos de distribución de agua tratada.....	49
4.3.3.	Variación en la producción de aguas grises por habitante	50
4.3.4.	Consumo de agua potable en el edificio	53
4.3.5.	Diseño de las redes de almacenamiento y distribución.....	54

4.4 DESARROLLO DE LA PLANTA MODULAR DE TRATAMIENTO

4.4.1.	Planta modular para tratamiento de aguas grises	58
4.4.2.	Características de la planta de tratamiento.....	58
4.4.3.	Procesos para el tratamiento del agua gris.....	59
4.4.3.1.	Criba de desbaste.....	59
4.4.3.2.	Cámara de estabilización y desengrasado	61
4.4.3.3.	Cámara de filtro percolador ascendente anaeróbico	62
4.4.3.4.	Cámara aerobia de lodos activados con lecho fluidizado (MBBR).....	66
4.4.3.5.	Cámara de decantación secundaria.....	72
4.4.3.6.	Cámara de bombeo y estabilización	76
4.4.3.7.	Proceso de Floculación y cloración	76
4.4.3.8.	Filtro vertical.....	82
4.4.4.	Efectividad de la planta de tratamiento	86
4.4.5.	Almacenamiento del agua tratada y equipo de bombeo	87
4.4.6.	Puesta en servicio.....	95

4.5 INFORMACION BASICA PARA EL USUARIO Y OPERADOR

4.5.1.	Información básica para el usuario	97
4.5.2.	Catálogo de operaciones.....	98
4.5.3.	Costos de operación y mantenimiento a largo plazo	99
4.5.4.	Costo de energía a largo plazo	100

CAPITULO V: RESULTADOS

5.1.	COSTOS DE AGUA POTABLE EN EL EDIFICIO (SIN EL SISTEMA DE RECICLAJE).....	102
5.2.	COSTOS DE AGUA POTABLE EN EL EDIFICIO (CON EL SISTEMA DE RECICLAJE).....	103
5.3.	PRESUPUESTO TOTAL DEL SISTEMA DE RECICLADO Y TIEMPO DE RECUPERACIÓN	105

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Distribución mundial del agua	2
Figura N° 2: Ubicación del proyecto	8
Figura N° 3: Producción de agua residual en el Perú	13
Figura N° 4: Cantidad de agua residual por persona al día en el Perú	14
Figura N° 5: Evolución del agua residual en el Perú.....	14
Figura N° 6: Esquema de aguas grises regeneradas en usos no potables	23
Figura N° 7: Señalización de aguas grises	38
Figura N° 8: Distribución de vivienda a analizar (ALTOZANO)	39
Figura N° 9: Consumo de agua potable per cápita en vivienda	41
Figura N° 10: Volúmenes promedio del consumo por departamento.....	43
Figura N° 11: Variación en la producción de aguas grises por departamento	43
Figura N° 12: Producción promedio de aguas grises en la vivienda	44
Figura N° 13: Comparación de las producción de aguas grises vs. aguas negras..	44
Figura N° 14: Día con mayor producción de aguas grises	45
Figura N° 15: Variación en la producción de aguas grises por habitante.....	50
Figura N° 16: Demanda en la descarga del tanque cisterna	51
Figura N° 17: Producción de aguas grises en la ducha.....	52
Figura N° 18: Distribución del baño típico en los departamentos.....	57
Figura N° 19: Criba de desbaste	61
Figura N° 20: Soportes de polipropileno para filtro percolador.....	63
Figura N° 21: Formación de biopelícula	67
Figura N° 22: Soporte de polietileno TIPO K3 500m ² /m ³	69
Figura N° 23: Rejillas difusoras de aire para el tratamiento con MBBR	69
Figura N° 24: Proceso aerobio con MBBR.....	70
Figura N° 25: Después de 3 días a una semana en el soporte de la biopelícula.....	71
Figura N° 26: Panel Lamelar	72
Figura N° 27: Instalación de los paneles lamelares	75
Figura N° 28: Proceso de floculación	77
Figura N° 29: Curva de disociación del ácido hipocloroso y el ion hipoclorito en función al pH	80
Figura N° 30: Bomba dosificadora de cloro.....	81
Figura N° 31: Eliminación de la materia en suspensión en el filtro vertical	83
Figura N° 32: Arena Silíceo	84
Figura N° 33: Antracita.....	85
Figura N° 34: Grava silíceo.....	86

Figura N° 35: Secuencia del tanque hidroneumático.....	89
Figura N° 36: Esquema de instalación de equipo hidroneumático.....	90
Figura N° 37: Curvas de operación a 60 Hz.....	93

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias.....	16
Tabla N° 2: Concentraciones normales de los parámetros de calidad de las aguas residuales domésticas.	19
Tabla N° 3: División propuesta para la Categoría 3, Sub Categoría D1	25
Tabla N° 4: Marco Legal para el tratamiento de aguas residuales en el Perú actualizado	26
Tabla N° 5: Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR.....	28
Tabla N° 6: Comparación de las normas en los ECA	29
Tabla N° 7: Dotación de agua fría por departamento	35
Tabla N° 8: Dotación de agua caliente por departamento	35
Tabla N° 9: Balance hídrico en cisterna WC (Tanque inodoro).....	37
Tabla N° 10: Puntos de consumo de agua en viviendas	40
Tabla N° 11: Cantidad de veces por uso de agua gris	42
Tabla N° 12: Volumen de agua gris por día	42
Tabla N° 13: Análisis de las características en las aguas grises.....	45
Tabla N° 14: Producción mínima, media y máxima de agua gris por habitante.....	48
Tabla N° 15: Volumen mínimo, medio y máximo de agua gris en el edificio	48
Tabla N° 16: Volumen promedio de producción de agua gris	49
Tabla N° 17: Volumen máximo de demanda en los puntos de distribución de agua tratada	49
Tabla N° 18: Dotación de agua en el edificio	53
Tabla N° 19: Unidades de descarga por departamento.....	55
Tabla N° 20: Propiedades físicas de los medios filtrantes de los filtros percoladores	65
Tabla N° 21: Soportes plásticos comunes utilizados en los MBBR.....	68
Tabla N° 22: Características del panel lamelar	75
Tabla N° 23: Valores para Ct en la incentivación de quistes de Giardia con cloro libre para 15 y 20°C:	79
Tabla N° 24: Porcentaje de eficiencia de la planta de tratamiento.....	87
Tabla N° 25: Valores de gasto.....	91

Tabla N° 26: Tabla de selección de equipo hidroneumático	92
Tabla N° 27: Coeficiente K de volumen útil.....	94
Tabla N° 28: Datos técnicos del equipo hidroneumático	95
Tabla N° 29: Controles básicos en el agua tratada.....	96
Tabla N° 30: Costos de operación y mantenimiento.....	99
Tabla N° 31: Costos de los controles básicos del agua tratada	100
Tabla N° 32: Costo de energía del sistema de reciclado	100
Tabla N° 33: Costos de agua potable en el edificio (Sin el sistema de reciclaje) ..	103
Tabla N° 34: Compilación de la dotación de agua potable y aguas grises	104
Tabla N° 35: Costos de agua potable en el edificio (Con el sistema de reciclaje).	105
Tabla N° 36: Presupuesto de la planta de tratamiento	106
Tabla N° 37: Presupuesto total del sistema de tratamiento de aguas grises.....	107

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Parametros en los estandares de calidad, Riego restringido	161
Anexo 2: Estructura tarifaria de la EPS Tacna S.A Actualizado	162
Anexo 3: Calidad del Efluente	163
Anexo 4: Presupuesto de los suministros e instalacion del sistema de reciclado..	164
Anexo 5: Instalación, mantenimiento y operación del equipo hidroneumatico - Hidrostal	165
Anexo 6: Planos de la red de captación de las aguas grises en el edificio	166
Anexo 7: Plano de la red de distribución de agua tratada en el edificio	167
Anexo 8: Plano de la planta modular de tratamiento de aguas grises	168

RESUMEN

El siguiente proyecto se inició con ideas de cambio sostenible, de mejoras para la calidad de vida y el cuidado del recurso más importante para la vida, como lo es el agua.

Se investigó el potencial que tienen las aguas residuales, sobre todo el agua gris por las características que tiene y las funciones que se puede realizar con ellas teniendo un tratamiento adecuado.

Por lo tanto, se propone implementar un sistema de reutilización de aguas grises en un edificio, en donde el agua generada de duchas, lavamanos y lavadoras sirvan para abastecer el tanque del inodoro, para limpieza y sea empleada para un sistema de riego en los jardines, todo lo anterior de forma controlada y segura.

El agua gris será tratada en una planta de tratamiento situada en el sótano del edificio, y que comprenderá de procesos de tratamiento continuos garantizando una calidad de agua que cumpla los estándares mínimos para el vertimiento en lugares donde no se necesite agua potable.

Con este sistema se plantea recuperar el 40% del agua consumida en el edificio, generando un ahorro financiero para los propietarios, y lo más importante es que se crea un ambiente sostenible para la vida humana, aportando a que se reduzca el déficit hídrico en la ciudad de Tacna y que sirva de ejemplo para las futuras generaciones.

Palabras clave:

Tratamiento de aguas grises, reutilización del agua regenerada, edificio sostenible, déficit hídrico, eficiencia del agua, aguas residuales.

ABSTRACT

The following project began with ideas about sustainable changes, improvements to the quality of life and care of the most important resource for life, such as water.

This project has investigated the potential of wastewater, especially gray water by the characteristics that it have and the functions that can be performed with them having an appropriate treatment.

Therefore, it is proposed to implement a system of water reuse in a building, where the water generated from showers, sinks and washing machines serve to supply the tank of the toilet, for cleaning and for an irrigation system in the Gardens, All of this in a controlled and safe way.

The grey water will be treated in a treatment plant in the basement of the building, and it comprises of continuous treatment processes guaranteeing a quality of water complying with the minimum standards for the dumping in places where no drinking water is needed.

With this system 40% of the water consumed in the building was recovered, generating a financial saving for the owners and the most important thing is that it creates a sustainable environment for human life, contributing to reduce the water deficit in Tacna's City and serve as an example for future generations.

Key words:

Treatment of grey water, reuse of reclaimed water, sustainable building, water deficit, water efficiency, wastewater.

INTRODUCCIÓN

Vivimos en un mundo saturado de población y el consumo de los principales recursos que nos da este planeta. El problema no está en su consumo masivo, si no, en el mal manejo y el fin que les damos. La presión sobre un planeta finito nos va a obligar a cambiar radicalmente la actividad humana. (Fresneda, 2012).

Y en estos casos no todos somos conscientes de lo que ocurre con nuestros recursos para la vida. Esta etapa del ciclo es la que nos tocó vivir y lidiar con el calentamiento global, el estrés hídrico e incremento de la población. Muchos gobiernos piensan en cómo mantener y proteger a tanta gente en este planeta, y muy pocos son los que piensan en el planeta. El cuidar nuestro futuro, regular las normas y leyes que protejan nuestros recursos naturales, fomentar un desarrollo sostenible y energías renovables son las necesidades que urgen en nuestra sociedad. Esta adecuación no debe ser solo una solución técnica, sino debe incluir un análisis de las implicaciones sociales, políticas y culturales.

En efecto, un gran problema que enfrentarán las ciudades en los próximos años es la disponibilidad del recurso hídrico. Dicha disponibilidad puede ser traducida tanto o más en términos de calidad que de cantidad. No obstante, por un lado, las grandes soluciones se dirigen a incrementar la oferta del recurso hídrico a través de grandes obras de ingeniería para abastecer a la economía aglomerada. Pero, por otro lado, es muy lento el incremento en obras de depuración y tratamiento de aguas residuales. En resumen, las ciudades demandan grandes cantidades de recursos hídricos y a la vez producen otra gran cantidad de residuos y aguas servidas.

Ante este escenario, de fuerte estrés hídrico por una parte, y de gran aumento poblacional por la otra, se plantea la necesidad de repensar nuestra manera de hacer las cosas. En este sentido, el empleo de aguas regeneradas, el aprovechamiento de las aguas pluviales y muy especialmente en algunos sectores, el reciclaje de las aguas grises, ocuparán un lugar destacado en la Gestión del Ciclo Integral del Agua a corto plazo.

La reutilización del agua es un fenómeno que se produce en el planeta desde que los seres vivos existen sobre él, lo cual se conoce como el Ciclo Hidrológico. El agua evapotranspirada por las plantas se acumula en la atmósfera en forma de

vapor de agua, desde donde cae posteriormente sobre el suelo en forma de lluvia, para ser utilizada de nuevo por otros seres vivos. Se estima aproximadamente que en el ciclo del agua, ésta experimenta de 5 a 6 usos antes de evaporarse en el follaje, la tierra, los ríos, lagos y el océano donde se cierra el ciclo hidrológico.

En definitiva, la recuperación del agua no es más que una manifestación del proceso cíclico continuo que experimentan los recursos naturales del planeta. Junto a esta forma de reutilización del agua, denominada incidental o fortuita, ha surgido durante las últimas décadas un enorme interés por la reutilización planificada del agua. Por reutilización planificada o directa se entiende la utilización para un nuevo empleo de las aguas procedentes de un uso previo, sin mediar para ello el vertido en un cauce natural. De este modo, un agua empleada es sometida a un tratamiento que le permita alcanzar cierta calidad antes de ser enviada a otra zona para ser aprovechada de nuevo en un uso adicional. (Arce, 2013).

En el Informe sobre el desarrollo humano en el año 2006 publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) se indica como las principales actividades que consumen mayor cantidad de agua, a la agricultura con un 70 % del consumo mundial, la industria con un promedio de 23 %, y el consumo doméstico con un 7 %. Dentro de este 7 % de consumo doméstico, los seres humanos tenemos la libertad de optar por realizar diferentes actividades que consumen agua sin ningún impedimento. (PNUD, 2006).

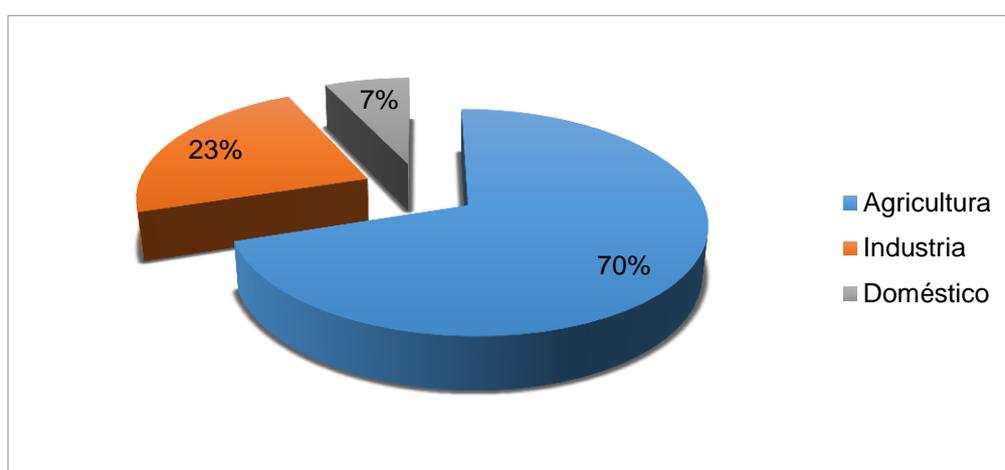


Figura N° 1: Distribución mundial del agua

Fuente: PNUD, (2006).

Es importante destacar que la reutilización planificada ha alcanzado un gran desarrollo no sólo en países con una escasez tradicional de recursos hídricos, sino especialmente en países con grandes recursos hidráulicos y con un elevado nivel de vida. Los altos incrementos de la demanda de agua, con frecuencia en lugares donde son escasos los recursos hídricos, han motivado a dirigirse hacia los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) como una fuente alternativa de recursos hídricos. Una vez sometidos a un proceso adecuado de regeneración estos efluentes son reutilizados a usos donde no requiere una alta calidad del agua.

La consideración del agua residual tratada como un subproducto conlleva diversas exigencias técnicas que pueden resumirse en términos de fiabilidad (garantía) tanto de su calidad como de su cantidad. Esta consideración de producto exige en la práctica una observancia estricta de la calidad del agua residual empleada como materia prima, un diseño adecuado de los depósitos del agua reciclada con criterios de fiabilidad y seguridad, y una operación y mantenimiento de los mismos con una mentalidad propia del que elabora un producto de calidad definida.

Las aguas residuales, principalmente las domésticas se pueden subdividir en aguas negras (procedentes de los inodoros, con materia fecal) y aguas grises (procedentes de lavados en general como: cocinas, lavamanos, duchas, conteniendo detergentes, restos de alimentos, materia orgánica y otros contaminantes). Debido al creciente deterioro del entorno y escasez de agua, se propone un sistema que reúse dichas agua residuales domésticas generadas en el edificio. Existen multitud de aplicaciones diarias que no requieren de un agua de calidad como la potable y para las cuales las aguas grises, convenientemente tratadas, son una alternativa eficaz y adecuada: Cisternas de inodoro, riego, limpieza, etc. Aplicando la tecnología conveniente, se puede reducir un 35 a 45% el consumo de agua apta para el consumo humano de nuestros edificios.

Siguiendo de cerca las experiencias nacionales e internacionales de la última década en el reciclaje de aguas grises, se puede constatar interesante contribución que las nuevas tecnologías han aportado al desarrollo y mejora de estos sistemas.

Es tiempo de nuevas acciones, de aplicar las soluciones técnicas existentes y de apostar seriamente por la sostenibilidad en la Gestión del Agua, con propuestas de valor añadido claras y contrastadas como es el reciclaje de las aguas grises.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La falta de agua potable es el mayor problema a resolver en la Ciudad de Tacna. La región presenta un déficit hídrico de 246 l/s (Sin Fronteras, 2017).

Y es evidente que el agua potable se irá reduciendo poco a poco hasta que no se tomen otras medidas para renovar el recurso, la toma de conciencia en la población y la necesidad de implementar proyectos sustentables y viviendas renovables es sumamente necesario por el mal manejo que hacemos con este recurso tan importante para la vida que se hace escaso al pasar los años.

El crecimiento económico del país, las mejoras en la calidad de vida y la cultura centralista en las grandes urbes ha acentuado el fenómeno migratorio en el país por lo cual la ciudad de Tacna ha experimentado un gran crecimiento demográfico en los últimos 20 años de su vida por efecto del desarrollo proyectado para su población y por la llegada de personas procedentes de distintas partes del país atraídos a la ciudad por su clima y oportunidades de trabajo. Al mismo tiempo la ciudad se halla en permanente riesgo de escasez hídrica.

Sobre la base de lo expuesto, nos planteamos las siguientes interrogantes:

- **Problema general**

¿Cómo diseñar una vivienda multifamiliar aprovechando al máximo los recursos naturales, utilizando un sistema que logre minimizar el gasto indiscriminado de agua potable en actividades y tareas que no requieran tal calidad de agua, en la ciudad de Tacna, 2017?

- **Problemas específicos**

- a) ¿Qué diseño de planta de tratamiento de aguas grises, cumple con los parámetros de los estándares de calidad, Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, Subcategoría: Agua para riego restringido dado por el D.S. N° 004-2017-MINAM, guiado por las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS)?
- b) ¿Qué beneficio directo proporciono al construir este sistema de reciclado?
- c) ¿Cuál es el porcentaje de agua a reutilizar?
- d) ¿Cuál es el monto a invertir en el sistema de reciclado y es viable su ejecución?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar una vivienda multifamiliar aprovechando al máximo los recursos naturales, utilizando un sistema que logre minimizar el gasto indiscriminado de agua potable en actividades y tareas que no requieran tal calidad de agua en la ciudad de Tacna, 2017.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- a) Identificar que diseño de planta de tratamiento de aguas grises, cumple con los parámetros de los estándares de calidad, Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, Subcategoría: Agua para riego restringido dado por el D.S. N° 004-2017-MINAM, guiado por las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS).
- b) Identificar qué beneficio directo proporciona el construir este sistema de reciclado.
- c) Determinar cuál es el porcentaje de agua a reutilizar.
- d) Determinar cuál es el monto a invertir en el sistema de reciclado y si es viable su ejecución.

1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

1.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

El diseño de una vivienda multifamiliar aprovechando al máximo los recursos naturales, es posible lograrlo utilizando un sistema que minimice el gasto indiscriminado de agua potable en actividades y tareas donde no requiera tal calidad de agua.

1.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:

- a) El diseño de la planta de tratamiento de aguas grises propuesto, cumple con los parámetros de los estándares de calidad, Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, Subcategoría: Agua para riego restringido dado por el D.S. N° 004-2017-MINAM, guiado por las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS).
- b) Los beneficios directos que proporciona al construir el sistema de reciclado, genera un ahorro en el consumo de agua y por ende, en la economía de los usuarios en los departamentos.

- c) El porcentaje de agua a reutilizar, es significativo; tanto para el cuidado del agua como para la parte económica.
- d) El monto a invertir en el sistema de reciclado y la viabilidad para su ejecución, es altamente beneficioso.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El estudio se justifica, ya que el diseño consiste en crear un ciclo renovable en este sistema de red de reciclado de aguas grises en una vivienda multifamiliar, que disminuirá la dotación normal a un 40 a 45%. Interconectando las aguas grises del edificio. En duchas, lavamanos y lavadoras, dándole un uso sustentable en el llenado del tanque del inodoro, limpieza de pisos en general y riego de plantas en vez de utilizar agua potable. En el riego de plantas se necesitara mejorar la calidad del agua cumpliendo los parámetros que nos exige los Estándares de calidad ambiental según la OMS (Organización Mundial de la Salud).

No se conecta a inodoros y urinarios, ya que necesitan otro tipo de tratamiento, una red solo para reciclar orina sería por dos razones, una es por los fertilizantes que produce, que son valiosos para la agricultura, y la otra es por la contaminación que evita, ya que la orina contiene 85-90% del nitrógeno de los desechos humanos y alrededor de dos tercios del fósforo, y las heces sólo tienen el resto siendo así un recurso barato e ilimitado para una agricultura sostenible. En el otro sistema de aguas negras llevadas a las plantas de tratamiento de aguas residuales puede convertirse en energía verde. (BBC Mundo, 2014)

El diseño es concordante con el desarrollo sostenible, ya que conlleva a disminuir el calentamiento global de la tierra. Este proyecto propone reciclar el recurso hídrico, brindando soluciones integradas diseñadas para ayudarlos a reducir y reutilizar el agua con el objeto de satisfacer sus metas económicas y ambientales en forma sustentable, contando asimismo, con una evaluación costo-beneficio que tenga en cuenta los costos de operación y mantenimiento en curso. La reutilización de agua es una estrategia muy importante en la problemática de la escasez de agua a nivel mundial.

1.5. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO:

Ubicación:

- Dirección: Av. J. Abelardo Quiñones s/n (frente a la Asociación de Viviendas Los Sauces)
- Distrito: Gregorio Albarracín Lanchipa
- Provincia: Tacna
- Departamento: Tacna



Figura N° 2: Ubicación del proyecto

Fuente: Google. (s.f.).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES HISTORICOS

2.1.1. Las aguas residuales en el Perú:

El Perú genera aproximadamente 2'217,946 m³ (2012) por día de aguas residuales descargadas a la red de alcantarillado de las EPS Saneamiento. El 32% de estas recibe tratamiento. Un habitante de la selva genera 136 l/d, en la sierra 144 l/d y en la costa 145 l/d de aguas residuales. (OEFA, 2014).

En el Perú, las EPS usan un manejo de aguas residuales centralizado. El centralismo del saneamiento es la forma de tratar de aglomerar toda el agua residual doméstica de la ciudad a pocos focos de gran volumen fuera de la metrópoli, busca aislar las desventajas de una planta de tratamiento de aguas residuales de la población.

El principal problema del centralismo en todo el Perú, comienza a ser palpable en el momento que la población tiene crecimiento económico y esto conlleva al aumento de población por migración. Al crecer la población, las plantas de tratamiento empiezan a saturarse, esto trae como consecuencia desbordes, señales de peligro a la salud y al medio ambiente. (Arce, 2013).

En Europa aún se usa el centralismo con una buena operatividad en pueblos de menos de 2,000 habitantes. Se utilizan humedales o lagunas de oxidación pero con fines de reúso para el riego de parques o uso agrícola. En ciudades de Estados Unidos, como Arizona, también emplean el centralismo para fines de riego de parques y jardines, entre otros. (Arce, 2013).

En el Perú, no se han buscado soluciones con estrategias que generen importancia a la problemática de la contaminación generada por el centralismo mal operado en el tratamiento de aguas residuales. La inversión para el problema de saneamiento va de la mano con el tema de investigación de mejores opciones para la mejora de la calidad de vida. No se puede brindar soluciones en el momento si no se cuenta con un cuerpo de investigación completo, que se especialice en encontrar errores y buscar alternativas de mejora continua.

El tema de generar cambios en el centralismo también abarca el área social, esto debido a la reacción de la gente con respecto al tema del agua residual doméstica.

El tratamiento de las aguas residuales como el tema de los residuos sólidos, compromete no solo la salud de los ciudadanos sino también la cultura de higiene

de la ciudad y el proyecto de mejora del lugar donde se habita. Esto debe generar conciencia con las unidades de investigación de las universidades y principales centros de estudio. La mejor manera de encontrar soluciones es investigar tanto los factores que originan los daños, como los métodos usados en otras partes para manejar el mismo problema.

Como su mismo nombre lo dice, el “Centralismo” busca solucionar el problema solo bajo un punto de vista, un “punto central”. Se trató de enfocar una solución hacia un punto exterior. Se trabajó tratando de aislar el problema, con el fin de no generar molestias de los pobladores. Si un conjunto mayor de personas tuviera constantes quejas del mal uso que se le da al sistema de saneamiento, se buscaría solucionarlo de manera más eficiente. De repente la manera en que las personas sientan el compromiso de cuidar el medio ambiente y reclamar por un uso correcto de los desechos, es colocarlo en la puerta de cada casa.

La tecnología del centralismo empleada por las EPS durante todos estos años ha sido la de lagunas de estabilización, en su mayoría. Estas tecnologías tienden a llegar a un buen resultado cuando se cuenta con el compromiso técnico y la responsabilidad de mejora. En este caso, las lagunas de oxidación empleadas han sido zonas olvidadas y usadas únicamente como almacenes gigantes de aguas residuales.

En el 2007, se recolectó en las zonas urbanas del Perú aproximadamente 747 millones de metros cúbicos de aguas residuales, de los usuarios conectados al servicio. De este volumen solo el 29% ingresó a algún tipo de sistema de tratamiento de aguas residuales, considerando que en promedio alrededor del 49% tiene algún tipo de falla en su operación y mantenimiento. En el 2009, las EPS recolectaron aproximadamente 786 millones de m³ de aguas residuales y solo el 35% de este volumen recibe algún tipo de tratamiento. El resto del agua residual es descargada de manera directa al mar, ríos, lagos, se infiltró en el suelo o se usó para fines agrícolas clandestinos. No se debe olvidar que estas aguas residuales sufren también de la contaminación de los residuos mineros e industriales (SUNASS, 2008).

Al analizar con detenimiento todos los puntos se puede percibir que existen respuestas a mejoras en horizontes que se creían no viables, es decir, tratando de solucionar una problemática a nivel micro. En este caso, se propone el “Descentralismo”, sistema que busca minimizar errores desde el inicio del

alcantarillado hasta su paradero final. Se busca crear pequeños focos de desarrollo sostenible mediante el uso de las aguas residuales.

Al estar relacionado con la sostenibilidad, el descentralismo enmarca la idea de ser independiente y minimizar gastos de energía y daño en el ambiente. En otras palabras, este sistema de alcantarillado es completo, ya que busca mediante tecnologías poco utilizadas en el medio, satisfacer las necesidades de los consumidores y brindarles una buena calidad de vida. (Arce, 2013).

El descentralismo consiste en ubicar pequeñas plantas de tratamiento en zonas residenciales, condominios o edificios, condicionado solo a un porcentaje pequeño de crecimiento donde se conozca el número de habitantes que viven, el cual es determinado solo por el uso residencial ya que al mezclarse con agua residual industrial no habrá descentralismo. Al ubicar una mega planta de tratamiento en las afueras del centro, se aglomera el problema en un solo foco y no se ha llegado a solucionar nada, caso contrario si se generan pequeñas plantas en diferentes focos pequeños y estables donde los domicilios ya están diseñados y construidos, se disminuye el problema.

Uno de los principales problemas que tiene el saneamiento actual es el crecimiento de la población. A pesar que todo el sistema de tratamiento de aguas residuales es trabajado bajo un factor de densidad poblacional para un tiempo determinado, muchas veces este crecimiento fluctúa de manera violenta generando desórdenes en los procedimientos fijados.

En el descentralismo se propone buscar zonas donde las casas tengan una densidad poblacional casi estable, es decir no se genere mayor crecimiento poblacional, con estas características se puede tener como ejemplo a los condominios, edificios y residenciales. En estas zonas se construirían plantas de tratamiento pequeñas ayudando a reducir la gran carga que tiene que albergar la planta centralizadora de tratamiento. Si se usa de manera correcta, además de realizar un diseño y elección de la ubicación de la planta adecuada, se tendría mayor requerimiento de cuidado para su mantenimiento. (Arce, 2013).

Para el año 2024 según OEFA, (2014). El Perú generará más del doble de aguas residuales que actualmente manejan las EPS (4'842,579 m³/d).

2.1.2. Producción de aguas residuales en el Perú

La producción de aguas residuales en las viviendas es muy variable, y está en función de la dinámica de las viviendas. Se influencia por factores como el servicio de suministro de agua existente e infraestructura, el número de miembros de la casa, la distribución de edades y las características del estilo de vida de los mismos. Los volúmenes de agua residual son bajos en regiones dónde se usan ríos o lagos para la higiene personal, el lavado de ropa y utensilios de la cocina. Una familia en una zona adinerada puede generar varios cientos de litros por día. Los datos de la literatura indican, que el consumo típico de agua residual esta entre 90 y 120 l/hab/día, con el agua conducida por tuberías (Morel & Diener, 2006).

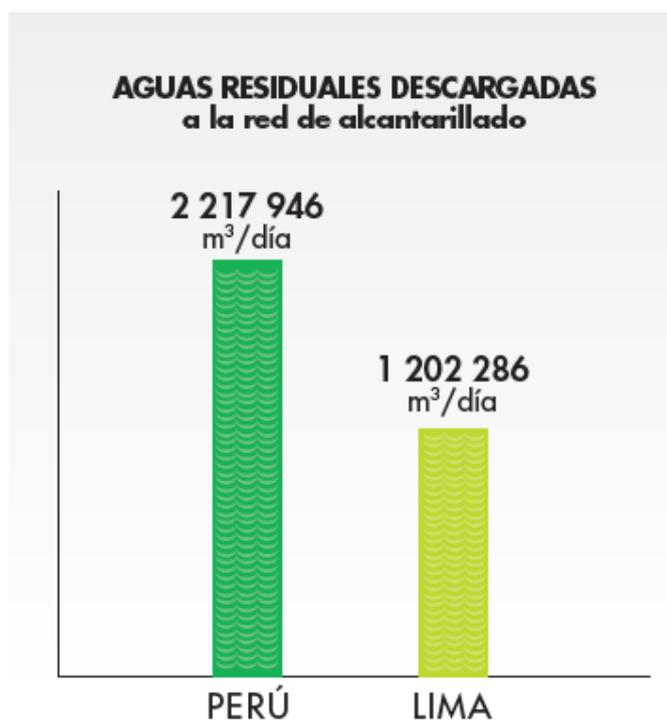


Figura N° 3: Producción de agua residual en el Perú

Fuente: OEFA, (2014).

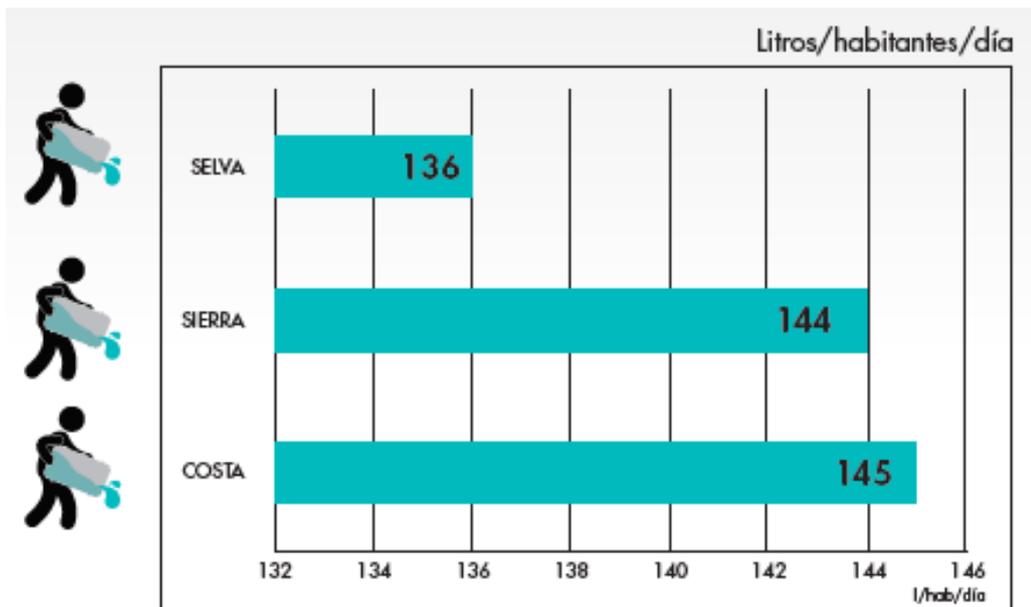


Figura N° 4: Cantidad de agua residual por persona al día en el Perú

Fuente: OEFA, (2014).

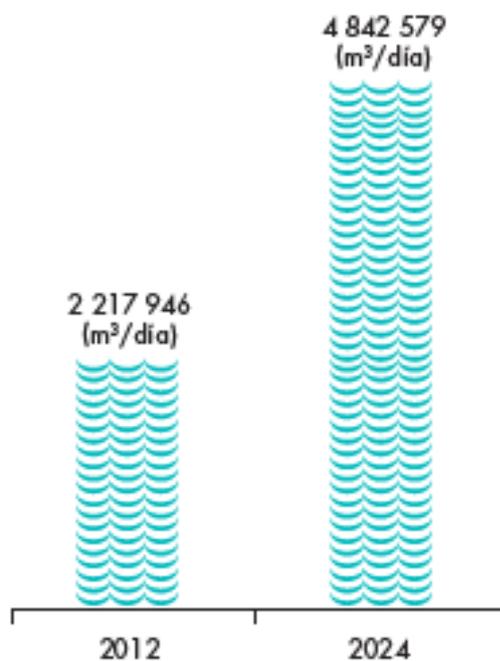


Figura N° 5: Evolución del agua residual en el Perú

Fuente: OEFA, (2014)

En los datos de las Figuras N° 3, 4 y 5, se observa la producción en el país de aguas residuales. Las regiones geográficas y el proceso evolutivo de la producción en el país incrementaran más del doble en los próximos años. En zonas de poco

acceso al recurso, la producción es igualmente baja, derivada de la escasez del agua y el acceso limitado al recurso.

2.1.3. Concepto de aguas gris:

Las aguas grises se definen como las aguas residuales urbanas, generadas por las duchas, lavamanos, lavaplatos, lavadoras y lavaderos, estas representan la mayor fuente potencial de ahorro de agua en las viviendas, ya que representan entre el 50 y 80% del uso total de agua. Es un agua que a primera vista puede resultar inservible, y que sin embargo su reutilización puede conseguir el ahorro de entre un 30% y un 45% de agua potable; protege las reservas de agua subterránea y reduce la carga de las aguas residuales. (Gallo, 2010).

En nuestro medio aún no se ha evaluado el verdadero potencial de las aguas grises, pero sí en cambio las usamos para satisfacer parte de la demanda de agua potable en los hogares, en la descarga del sanitario o el lavado de pisos. En nuestro medio, se han comenzado a hacer algunas evaluaciones sistemáticas de la reutilización de las aguas grises en las viviendas, las cuales indican que se deben estudiar a fondo las características de éstas y estimular su uso. De manera informal, poco a poco son cada vez más las personas que hacen algún tipo de reutilización de las aguas grises, generalmente buscando reducir el pago de la factura de agua.

2.1.4. Características físicas, químicas y biológicas de las aguas grises:

El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental de cara al proyecto y construcción de la infraestructura tanto de captación como de tratamiento y evacuación de las aguas residuales, así como para la gestión de la calidad medioambiental. Para facilitar este conocimiento, vemos las diferentes características y comportamientos de interés del agua residual.

Las características de las aguas grises dependen en primer lugar de la calidad del agua suministrada, en segundo lugar, del tipo de red de distribución del agua potable y residual (biopelícula en las paredes de las tuberías), y en tercer lugar de las actividades en el hogar. Los compuestos presentes en las aguas grises varían de una fuente a otra, donde los estilos de vida, las costumbres, las instalaciones y el uso de productos químicos de uso doméstico serán de importancia en su composición. La composición puede variar significativamente en términos de tiempo y lugar, debido a las variaciones en el consumo de agua en relación con las cantidades de sustancias vertidas. Además, podría haber

degradación química y biológica de los compuestos químicos, dentro de la red de transporte y durante el almacenamiento. (Eriksson et al, 2002).

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica, la **Tabla N° 1** muestra las principales propiedades físicas de agua residual así como sus principales constituyentes químicos y biológicos, y su procedencia. Es conveniente observar que muchos de los parámetros que aparecen en la tabla están relacionados entre ellos. Por ejemplo, una propiedad física como la temperatura afecta tanto a la actividad biológica como a la cantidad de gases disueltos en el agua residual.

Tabla N° 1: Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias.

CARACTERÍSTICAS	PROCEDENCIA
PROPIEDADES FISICAS	
<i>Color</i>	Aguas residuales e industriales degradación natural de materia orgánica
<i>Olor</i>	Agua residual en descomposición, residuos industriales
<i>Solidos</i>	Agua de suministro, aguas residuales domesticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.
<i>Temperatura</i>	Aguas residuales domesticas e industriales.
CONSTITUYENTES QUIMICOS	
Orgánicos	
<i>Carbohidratos</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
<i>Grasas animales, aceites</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales y grasa
<i>Pesticidas</i>	Residuos agrícolas
<i>Fenoles</i>	Vertidos industriales.
<i>Proteínas</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
<i>Contaminantes prioritarios</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
<i>Agentes tenso activos</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
<i>Compuestos orgánicos volátiles</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
<i>Otros</i>	Degradación natural de materia orgánica
Inorgánicos	
<i>Alcalinidad</i>	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea

<i>Cloruros</i>	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea
<i>Metales pesados</i>	Vertidos industriales
<i>Nitrógeno</i>	Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas
<i>PH</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
<i>Fósforo</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de Escorrentía
<i>Contaminantes prioritarios</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
<i>Azufre</i>	Agua de suministro; aguas residuales domésticas, comerciales e industriales
Gases	
<i>Sulfuro de hidrógeno</i>	Descomposición de residuos domésticos
<i>Metano</i>	Descomposición de residuos domésticos
<i>Oxígeno</i>	Agua de suministro; infiltración de agua superficial
CONSTITUYENTES BIOLÓGICOS	
Animales	
<i>Animales</i>	Cursos de agua y plantas de tratamiento
<i>Plantas</i>	Cursos de agua y plantas de tratamiento
Protistas	
<i>Eubacterias</i>	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento
<i>Arqueobacterias</i>	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento
<i>Virus</i>	Aguas residuales domésticas

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995).

Físicas:

La principal característica física de estas aguas es, su color, el cual es gris por lo general. Otros parámetros físicos de importancia son la temperatura, la turbidez y el contenido de sólidos en suspensión. Las altas temperaturas pueden ser desfavorables, ya que favorecen el crecimiento microbiano y podrían en aguas sobresaturadas, inducir la precipitación (Eriksson et al, 2002).

Las partículas de comida y animales crudos en la cocina, y las partículas del suelo, pelo y fibras de las aguas de lavandería son ejemplos de material solido presente en las aguas grises. Estas partículas y coloides causan turbidez en el agua e incluso pueden resultar en la obstrucción física de las tuberías. Las mayores concentraciones de sólidos en suspensión se encuentran típicamente en las aguas grises de la cocina y el lavadero. Igualmente las concentraciones de sólidos suspendidos dependen fuertemente de la cantidad de agua utilizada. (Morel & Diener, 2006).

Químicas:

Los elementos o compuestos presentes en las aguas grises están directamente relacionados con las actividades diarias de los hogares; estos elementos son principalmente productos químicos sintéticos compuestos de nitratos, fosfatos y agentes tensoactivos, que se utilizan en grandes cantidades para la limpieza doméstica y son vertidos directamente a la red de alcantarillado.

Adicionalmente, las aguas grises domesticas contienen sodio, calcio, magnesio, compuestos de sales de potasio, aceites, grasas y nutrientes, que se derivan de las actividades diarias desarrolladas en los hogares, y delimitan el potencial de utilización de las aguas grises crudas. (Matos et al, 2012).

Los elementos químicos presentes en las aguas grises domésticas varían según la localización socioeconómica de los inmuebles y la zona en que se encuentre; por ejemplo, en las zona urbanas las concentraciones de detergentes son mayores, por el uso intensivo de detergentes para el aseo en los hogares, mientras que en zonas rurales estas concentraciones son bajas por el poco uso y acceso limitado a detergentes para el aseo.

Las sustancias químicas presentes en las aguas grises son: Aluminio, Arsénico, Plomo, Bario, Hierro, Calcio, Fosforo, Cadmio, Sulfatos, Cromo, Cloruros, Plata, Molibdeno, Nitrógeno, Cobre, pH (Potencial de hidrógeno), Níquel, Manganeso, Sodio, Grasas y aceites, Alcalinidad, Potasio, Magnesio, Surfactantes (Sustancias activas al azul de Metileno - MBAs) y Zinc. (Hocaoglu et al, 2010; Li et al, 2009; Al-Hamaiedeh & Bino, 2010; Hypes, 1974; March et al, 2004; Al-Jayyousi, 2003).

Como parte de las características químicas de las aguas grises también encontramos la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO). El DBO_5 , es la cantidad de oxígeno necesaria para que una población microbiana heterogénea establezca la materia orgánica biodegradable presente en una muestra de agua residual. La DBO_5 representa una medida indirecta de la concentración de materia orgánica e inorgánica degradable o transformable biológicamente. La DQO es una medida de la cantidad de oxígeno consumido en la oxidación química de la materia orgánica presente en una muestra de agua (Collazos, 2008).

Biológicas:

Las características biológicas de las aguas residuales tienen relación con las Coliformes fecales, totales, *Escherichia coli*, entre otros, las cuales se deben fundamentalmente a los desechos humanos y animales, que se presentan por lo general en las aguas negras, ya que los agentes patógenos –bacterias y virus- se encuentran en las heces, orina y sangre, y previenen de muchas enfermedades y epidemias (fiebres tifoideas, disentería, cólera, polio, hepatitis infecciosa). Desde el punto de vista histórico, la prevención de las enfermedades originadas por las aguas constituyó la razón fundamental del control de la contaminación. En la red de control de aguas superficiales se analizan los Coliformes totales, y *Escherichia coli*, que es un indicador de contaminación fecal. En la red de control de aguas de baño se deben realizar controles de *Escherichia coli*. (CEPIS - OPS, 1996).

Las concentraciones normales de las sustancias presentes en las aguas grises domésticas varían según la temporada del año (verano e invierno), la fuente, así como sus contaminantes presentes. Según Tjandraatmadja & Diaper (2006), las concentraciones de los contaminantes presentes en las aguas grises crudas domésticas están directamente relacionados con los volúmenes producidos por cada fuente y las actividades desarrolladas en el hogar.

En la **Tabla N° 2** se presentan las concentraciones normales para los parámetros de calidad de las aguas residuales crudas domésticas combinadas (mezcla de todas las fuentes, duchas, lavamanos, lavadora, lavadero y lavaplatos).

Tabla N° 2: Concentraciones normales de los parámetros de calidad de las aguas residuales domésticas.

Parámetro	Und	Concentración	Parámetro	Und	Concentración
Aluminio	mg/L	0.01 – 0.5	Alcalinidad total	mg/L	12 – 35
Arsénico	mg/L	< 0.01	Sólidos totales	mg/L	20 – 126
Plomo	mg/L	1.0 – 1.31	Sólidos suspendidos totales	mg/L	25 – 183
Bario	mg/L	< 1	Sólidos suspendidos volátiles	mg/L	28 – 87
Hierro	mg/L	0.1 – 0.4	Conductividad	µS/cm	82 – 1845
Calcio	mg/L	0.1 - 1.4	Fosforo total	mg/L	0.1 – 2.0
Cadmio	mg/L	< 0.03	Sulfatos	mg/L	83 – 160
Cromo Total	mg/L	< 0:05	Cloruros	mg/L	20 – 30
Plata	mg/L	< 0:05	pH (Potencial de hidrógeno)	mg/L	6.3 – 8.1
Molibdeno	mg/L	0.2 – 0.5	NTK	mg/L	1.7 – 34.3
Cobre	mg/L	0.01 – 0.5	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	47 – 466
Níquel	mg/L	< 0.05	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	100 – 700
Manganeso	mg/L	0.01 – 0.5	Grasas y aceites (FOG)	mg/L	7 – 230
Sodio	mg/L	68 – 93	Coliformes fecales	CFU/ 100 ml	0.1 – 1.5 x 10 ⁶
Potasio	mg/L	0.8 – 3	Coliformes totales	CFU/ 100 ml	56 – 8.03 x 10 ⁷
Magnesio	mg/L	0.4 – 5.0	Escherichia coli	CFU/ 100 ml	0 – 2.51 x 10 ⁷
Zinc	mg/L	0.1 – 0.5	Surfactantes (Sustancias activas al azul de Metileno - MBAs)	mg/L	45 – 170
Turbidez	NTU	29 – 375			

Fuente: Adaptado por: El Autor; aportes de: Hocaoglu, Insel, UbayCokgor, & Baban (2010), Li, Wichmann, & Otterpohl (2009), Al-Hamaiedeh & Bino (2010), Hypes (1974), March, Gual, & Orozco (2004) y Al-Jayyousi (2003).

2.1.5. La tecnología en el tratamiento para adquirir los estándares de calidad

Durante esta investigación se fue evaluando la gran cantidad de alternativas de tecnologías para la solución del tratamiento de aguas residuales. Ello lleva a tener un mayor conocimiento de los procesos, su funcionamiento, sus principales ventajas y desventajas.

En el caso de un edificio residencial sostenible para la reutilización de aguas grises en los tanques inodoro, riego de áreas verdes y puntos de limpieza, será necesaria una alternativa compacta, segura para los habitantes y el medio ambiente y efectividad al tratar el agua.

Para este sistema de tratamiento de aguas grises se tendrá como objetivo diseñar una planta con un tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario. En el caso del tratamiento primario se contara con una criba

de desbaste y una cámara de desengrasado y sedimentación. Para la elección del tratamiento secundario se tomaron factores específicos como tecnologías en filtros percoladores de flujo ascendente y aireación de lodos activados con lecho fluidizado, se tomaron en cuenta por la pequeña área que pueden ocupar, la eficiencia en remoción, los costos en construcción como mantenimiento y algunos factores generales como estabilidad y simplicidad en la operación.

- **PROCESOS FÍSICOS**

Los procesos físicos directos se aplican normalmente a pequeña escala y se ha demostrado que eliminan eficazmente los sólidos pero son menos eficaces en la eliminación de sustancias orgánicas (Jefferson et al., 2004). Obviamente, la filtración simple no es capaz de reducir las concentraciones de microorganismos para que entre dentro de los estándares de reutilización. La filtración por cribas de desbaste proporciona una retención y separación de los cuerpos voluminosos flotantes y en suspensión. (Li et al., 2009).

- **PROCESOS QUÍMICOS**

En comparación con los procesos físicos, los procesos químicos son capaces de reducir en cierta medida la presencia orgánica y la turbidez del agua gris de baja carga orgánica, pero no lo suficiente como para cumplir las normas de reutilización no potable.

Las soluciones químicas, tales como la coagulación y el intercambio iónico seguidos de una etapa de filtración por membrana pueden aplicarse para el tratamiento de aguas grises de baja carga orgánica, cumpliendo con los requisitos de reutilización de agua urbana no potable sin restricciones. Alternativamente a la etapa de filtración por membrana, el efluente puede completarse con una etapa de filtración de arena para cumplir con los requisitos menos estrictos de reutilización urbana no potable restringida. Además, si tras esta etapa de filtración de arena procedemos a una desinfección del efluente resultante, las aguas grises recuperadas pueden satisfacer el nivel de las reutilización urbana no potable sin restricciones. (Li et al., 2009).

- **PROCESOS BIOLÓGICOS**

Los procesos de depuración biológicos son menos agresivos con el medio ambiente que los físico-químicos.

Los tratamientos biológicos estabilizan de una manera controlada la materia orgánica que de otro modo causa problemas tales como mal olor, reproducción de mosquitos, contaminación del agua y del suelo, y obstrucción en los sistemas de distribución, debido a la acumulación de sólidos y al crecimiento de microorganismos (Eriksson et al., 2002).

Este tipo de procesos están a menudo precedidos por una etapa de pre-tratamiento físico tal como la sedimentación o el uso de tanques sépticos (Li et al, 2009). Además, suelen estar seguidos por una etapa de filtración (por ejemplo filtración de arena) y/o una etapa de desinfección.

Los procesos biológicos aeróbicos son capaces de lograr una gran reducción de carga orgánica y turbidez. Es el sistema idóneo para el almacenamiento de agua durante períodos más largos, ya que después de los tratamientos aeróbicos, la mayoría de las sustancias orgánicas biodegradables se han eliminado, y en consecuencia, la reaparición de microorganismos y los problemas de olores se evitan. Por lo tanto, este tipo de procesos están recomendados especialmente en el caso de aguas grises de media y alta carga orgánica. Procesos como el Reactor Anaeróbico biológico – Filtro percolador) o SBR (Reactor secuencial) garantizan una reducción de la DBO a menos de 10 mg/l, lo cual cumple con el estándar más estricto de reutilización no restringida. Puede aplicarse una etapa final de filtración de membrana o una etapa de filtración de arena seguida de una etapa de desinfección para satisfacer los requisitos de eliminación de microorganismos, sólidos en suspensión y turbidez: La combinación de procesos biológicos aeróbicos con filtración física y/o desinfección se considera que es la solución más económica y viable para el reciclaje de aguas grises. El agua gris de resistencia media y alta también puede ser tratada por el sistema MBBR (Bioreactores de lecho móvil) para cumplir con las normas de reutilización urbana no potable sin restricciones.

Los procesos anaeróbicos tienen una menor eficacia en la eliminación de sustancias orgánicas y tensioactivos, así que serán los más indicados para el tratamiento de aguas grises de baja carga orgánica.

Friedler y Hadari (2006) llegó a la conclusión de que un sistema de tratamiento biológico es económicamente factible cuando el tamaño del edificio alcanza siete plantas (28 viviendas) a más.

En la **figura N° 6** se muestra alternativas de tratamiento de las aguas grises para usos no potables:

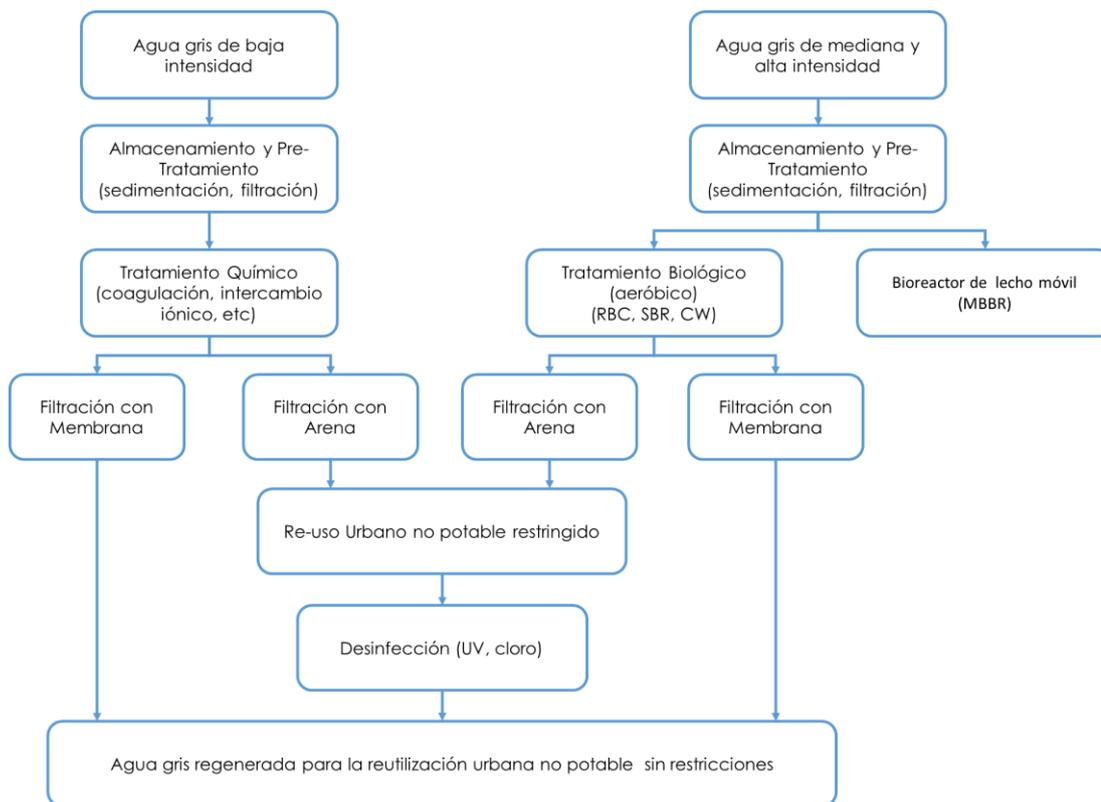


Figura N° 6: Esquema de aguas grises regeneradas en usos no potables

Fuente: Palma, 2003

Comparando estos procesos, podemos establecer las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos. Los tratamientos biológicos desbancan a los físico-químicos en estos aspectos:

- Evacuación más sencilla de los lodos y fangos producidos.
- A su vez, hay una menor producción de lodos excedentes.
- La calidad global de los efluentes tratados es superior.
- No precisa la adición de reactivos químicos, de gran coste económico medio ambiental, por tanto, su control, mantenimiento y explotación no necesita de una mano de obra especializada.
- Capacidad superior en degradar la materia orgánica, contaminación característica de unas aguas residuales domésticas.
- Las tecnologías existentes son más adaptables a pequeños caudales.

Por otro lado, los procesos físico-químicos también tienen ventajas sobre los biológicos:

- a) Necesitan un menor espacio, pero a su vez, no están desarrollados para abastecer pequeños caudales, por lo que su adaptación a la edificación no está solucionada.
- b) Son procesos más rápidos, pero no más eficaces. El tiempo no es un factor predominante, frente a la necesidad de obtener buenos rendimientos y una relativa calidad del efluente final.
- c) Elimina mejor las formas nitrogenadas, características de las aguas residuales domésticas. Sin embargo, otros procesos biológicos pueden hacerlo de manera similar siempre y cuando se diseñen correctamente.
- d) Existen menos problemas técnicos a la hora de reiniciar el proceso tras un paro técnico de la instalación (limpieza, averías, estacionalidad en su uso, etc.).
- e) Alta efectividad en la destrucción de microorganismos patógenos. No obstante, la necesidad de proceder a la total desinfección de las aguas, nos obligará a que a final de línea se dispongan otras tecnologías destinadas a tales menesteres.
- f) Generalmente, existe un menor riesgo en la aparición de los malos olores, y, como consecuencia, en la proliferación de insectos

Los procesos biológicos se consideran los más adecuados para el tratamiento de aguas grises debido a una eliminación eficiente de los compuestos orgánicos. (Gideon et al, 2008). Sin embargo, se recomienda completarlos con otro tipo de tratamientos para una mayor efectividad.

2.2. ANTECEDENTES LEGALES O NORMATIVOS

2.2.1. Marco legal para el tratamiento de aguas residuales en el Perú

El Perú no cuenta con una normativa que describa la calidad del agua para el reúso en viviendas. Si analizamos los Estándares de calidad Ambiental (ECA) desde que fue aprobada por el D.S. N°002-2008-MINAM, luego aprueban disposiciones para la implementación de los ECA D.S. N°023-2009, siendo modificada por el D.S. N°015-2015-MINAM y recientemente se publicó la R.M. N°072-2017-MINAM, que resuelve disponer la pre-publicación del proyecto de Decreto Supremo que modifica los ECA para agua, así como otras disposiciones.

Llegando a la conclusión que al no haber una normativa de calidad del agua definida para nuestro fin, nos acogemos a la última modificación que hubo en los ECA según D.S. N° 004-2017-MINAM, que tuvo asistencia técnica de la Agencia de

Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Cooperación Alemana al Desarrollo – Agencia de la GIZ en el Perú, para la revisión de los ECA para agua vigentes, así como la opinión y propuestas de entidades públicas y del sector privado, con la finalidad de establecer oportunidades de mejora en el corto, mediano y largo plazo.

Si tomamos el Decreto Supremo N°015-2015-MINAM que modifica el Artículo 2.- Precisiones de las categorías de los estándares Nacionales de calidad ambiental (ECA) para agua, Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, es aquí donde existe una división entre la Subcategoría D1: vegetales de tallo bajo y alto y Subcategoría D2: bebida de animales, que en conclusión el Perú es el único país que establece una clasificación de las aguas para vegetales en función del tallo alto y tallo bajo, que no encuentra una justificación técnica razonable.

Es por eso que el nuevo Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM divide la Subcategoría D1: Vegetales de tallo bajo y alto, en riego restringido y no restringido. De esta forma se decidió tomar como guía los parámetros de Riego Restringido para el diseño del tratamiento de aguas grises, mostrado en el **(ANEXO 1)**.

Este Decreto Supremo al que nos basamos, toma la propuesta de la OMS para incentivar el uso de aguas residuales tratadas y no tratadas como fuente de riego para cultivos y aplicar una división de la Subcategoría D1 considerando otros tipos de criterios. Para en el caso del Perú se ha evaluado la pertinencia de adoptar, de acuerdo a lo establecido en la OMS, los siguientes criterios: (i) El tipo de riego empleado en los cultivos de consumo crudo y cocido; y. (ii) los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas.

De acuerdo con ello, mediante la propuesta de la norma se plantea la división de la Sub Categoría D1, en dos Sub Categorías según se presente un riego restringido o un riego no restringido, tal como se detalla a continuación:

Tabla N° 3: División propuesta para la Categoría 3, Sub Categoría D1

Sub Categoría	Descripción
Sub Categoría D1: Riego restringido	Cultivos alimenticios que se consumen crudo. Ej.: Hortalizas, plantas frutales de tallo bajo.
	Cultivos de árboles o arbustos frutales que son regadas por un

	tipo de aspersión en la que el agua de riego entra en contacto con el fruto, aun con tallo alto.
	Parques públicos y campos deportivos.
Sub categoría D2: Riego no restringido	Cultivos alimenticios que se consumen cocidos. Ej.: Habas, entre otros.
	Cultivo de tallos altos, en que el agua de riego no entra en contacto con el fruto. Ej.: Árboles frutales.
	Cereales procesados. Ej.: trigo, arroz, avena, quinua, entre otros.
	Cultivos industriales no comestibles. Ej.: Algodón.
	Cultivos alimenticios envasados. Ej.: Palmito, entre otros.
	Forrajes y pastos naturales. Ej.: Maíz forrajero, pasto elefante, alfalfa, etc.
	Cultivos forestales. Ej.: Eucalipto, pino, entre otros.

Fuente: D.S. N°004-2017-MINAM

Tabla N° 4: Marco Legal para el tratamiento de aguas residuales en el Perú actualizado

Ley de Recursos Hídricos - Ley 29338 (Publicada el 31 de marzo de 2009)
Reglamento de la Ley Recursos Hídricos D.S. N° 001-2010-AG (Publicado el 24 de marzo de 2010)
D.S. N° 002-2008-MINAM. Aprueban los Estándares de Calidad de Agua (ECA) para el Agua
D.S. N°023-2009-MINAM. Aprueba las disposiciones para la implementación de los estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) para agua.
D.S. 003-2010-MINAM. Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes PTAR (Publicado el 17 de marzo de 2010).
Resolución Jefatural N°274-2010-ANA-medidas para la implementación del Programa de Adecuación de Vertimiento y reúso de agua residual (PAVER).
Resolución Jefatural N°202-2010-ANA-Aprueban clasificación de cuerpos de aguas.
D.S N° 033-2007-PCM. Aprueban el Procedimiento para la aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) de Contaminación Ambiental
Resolución Jefatural N°489-2010-ANA-Modifican el Anexo 1 de la R.J. N°202-2010-ANA, en lo que corresponde a la clasificación de los cuerpos de agua marino costeros.
Decreto Supremo N°007-2010-AG Declaran de Interés Nacional la protección de la calidad del agua en las fuentes naturales y sus bienes asociados.
Decreto Supremo N°021-2009-VIVIENDA Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de agua residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado.
Decreto Supremo N°003-2011-VIVIENDA, Reglamento del D.S. N°021-2009-VIVIENDA.
Resolución Jefatural N°182-2011-ANA. Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial.

Resolución de Consejo Directivo N°025-2011-SUNASS-CD. Aprueba metodología para determinar el pago adicional por exceso de concentración de los parámetros fijados en anexo 1 de D.S. N° 021-2009-VIVIENDA y modifican el reglamento general de tarifas, así como el reglamento de calidad de prestación de servicios de saneamiento.
Decreto Supremo N° 010-2012-VIVIENDA. Modifica el D.S. N° 003-2011-VIVIENDA, con la finalidad de establecer procedimientos para controlar descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario.
Reglamento Nacional de Edificaciones (Publicado el 8 de Junio de 2006)
Norma OS 090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales
Decreto Supremo N°022-2009-VIVIENDA Modificación de la Norma OS. 090 (26.11.2009)
DC N°015-2015-MINAM. Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación
RM N° 072-2017-MINAM. Modificación de los estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) para agua, así como otras disposiciones contenidas en el DS N°002-2008-MINAM, DC N°023-2009-MINAM Y DC N°015-2015-MINAM.

Fuente: Elaboración propia

2.2.2. Los límites máximos permisibles (LMP)

Los Límites Máximos Permisibles (LMP) se definen como la concentración de los parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan un efluente, que al ser excedido causa o puede causar daños para la salud, bienestar humano y al ambiente, de acuerdo a lo establecido en el D.S. N°003-2008-MINAM. Su cumplimiento es exigible legalmente por la respectiva autoridad competente.

El procedimiento actualizado para la aprobación de los límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales fue aprobada mediante D.S. N° 003-2010-MINAM, donde su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente (MINAM) y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental. La siguiente tabla se muestra los LMP vigentes para los efluentes de las PTAR:

Tabla N° 5: Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: D.S. N° 003-2010-MINAM, (2010)

2.2.3. Estándares de calidad del agua (ECA).

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) se definen como la concentración de los parámetros físicos, químicos y biológicos en el agua en su condición de cuerpo receptor, no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni del ambiente. El ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales, las políticas públicas y en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental. Es por ello que el diseño de las PTAR parte de la definición del ECA para el tipo de uso que se le otorga al cuerpo de agua que recibirá sus efluentes establecidos por el MINAM, fijan los valores máximos permitidos de contaminantes en el ambiente. El propósito es garantizar la conservación de la calidad ambiental mediante el uso de instrumentos de gestión ambiental sofisticados y de evaluación detallada.

La última modificatoria de los ECA fue el 2017, modificándose los D.S. N° 002-2008-MINAM, el D.S. N° 023-2009-MINAM y el DS. N°015-2015-MINAM. Se muestra en el siguiente **Tabla N° 6** la comparación en las normas:

Tabla N° 6: Comparación de las normas en los ECA

Comparación de las normas en los ECA								
PARAMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	DS-N°002-2008-MINAM		DS-N°015-2015-MINAM		DS-N°-2017-MINAM		
		Vegetales De Tallo Bajo	Vegetales De Tallo Alto	D1: Riego De Cultivo De Tallo Alto Y Bajo	D2: Bebida De Animales	D1: Riego Restringido	D2: Riego No Restringido	D3: Bebida Para Animales
Coliformes Totales (35-37°C)	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000	5 000	-	-	-
Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100 ml	5 000	5 000	1 000	1 000	1 000	2 000	1 000
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	20	100	20	20	-	-	-
Escherichia coli	NMP/100 ml	100	100	100	100	1000	**	**
Huevos y larvas de helmintos	Huevos/L	<1	<1	<1	<1	<1	<1	**

Fuente: Elaboración propia

Nota: El símbolo (-) dentro de la tabla significa que ha sido excluido por no haberse identificado regulación internacional y/o referencias técnico científicas que sustenten establecer un valor. El símbolo (**) dentro de la tabla significa que no se presenta valor para este parámetro.

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación analítica y descriptiva está enfocada en el reúso del agua residual para el desarrollo sostenible en la Ciudad de Tacna, por la necesidad de proteger el medio ambiente que cada vez está más afectado.

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación, abarca la planta de tratamiento de aguas residuales, la redistribución del agua tratada en el edificio y los equipos necesarios para garantizar el objetivo de la investigación.

3.3. VARIABLES

3.3.1. Variable Dependiente-indicadores

DESARROLLO SOSTENIBLE.

Indicadores:

- a) Factores ambientales
- b) Economía familiar
- c) Aspecto social
- d) Actitud y concientización de la persona.

3.3.2. Variable Independiente-indicadores

SISTEMA DE RECICLADO DE AGUAS GRISES.

Indicadores:

- a) Medición de flujos
- b) Costo de operación
- c) Costo de facturación
- d) Reducción de costo de facturación.

3.4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.4.1. Metodología

Se plantea como alternativa de solución para el ahorro del agua haciendo una captación del agua gris de las duchas, lavadoras y lavamanos para su tratado y redistribución a los tanques inodoros, puntos para limpieza de pisos y riego de áreas verdes. Reduciendo un 35 a 45% el consumo de agua potable. El tratamiento de las aguas grises será realizado por una Planta de tratamiento instalada en el sótano del edificio, mediante procesos primarios de cribado reteniendo los sólidos en suspensión. Procesos secundarios con tecnologías anaeróbicas de filtros percoladores, bioreactores de lecho móvil y decantación por paneles lamelares. Y por último el proceso terciario de desinfección por cloro y floculantes, terminado por un filtro vertical con grava, granito y arena. Siendo depositada el agua tratada en una cisterna para luego ser bombeada por un motor hidroneumático hacia los puntos de distribución ya mencionados.

3.4.2. Población

El edificio consta con 12 pisos. En el primer piso (planta baja) y el último piso (planta de cubierta) no habrá departamentos. Cada piso cuenta con 4 departamentos de 105.08 m² con 3 dormitorios, 2 baños, estar-comedor, cocina, vestíbulo y terraza. Se estima un promedio de 6 habitantes por vivienda, teniendo una población 240 personas en el edificio.

3.4.3. Muestra

La muestra será todo el edificio, es decir, 40 departamentos.

3.4.4. Ámbito de estudio

El edificio se proyecta en el sector del Distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, en la Asociación de vivienda Los Sauces. Ya mostrado anteriormente en la figura N° 2.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DEL ESTUDIO

4.1. ANÁLISIS DE LUGAR

4.1.1. Aspectos de diseño:

El diseño inicial del proyecto cuenta con el almacenamiento y bombeo de agua potable que se encontrará en el cuarto de bombas del sótano, la distribución del agua será con motores hidroneumáticos para evitar el sistema de tanques elevados. El espacio donde se trabajará es reducido por las cisternas y las bombas, lo que el tamaño de la planta de tratamiento a incorporar es muy importante. El ambiente contara con excelente ventilación, hermético, correctamente señalizado, convenientemente protegido para evitar el acceso a insectos y roedores y accesible solo al personal autorizado para las operaciones de limpieza y mantenimiento. Se incorpora al edificio un diseño termo - acústico por lo que no incomodara a los propietarios de los sonidos que hagan durante el proceso de tratamiento y bombeo.

La planta de tratamiento contara con una criba de desbaste donde se acumulara las aguas grises para ser bombeada a la PTAR, una cisterna para el almacenamiento de agua tratada y un motor hidroneumático para su recirculación. Los procesos del tratado del agua gris serán automatizados y la planta tendrá un sistema eléctrico independiente garantizando el suministro de agua potable y agua tratada incluso de un posible corte de energía eléctrica.

Todos los elementos integrantes del sistema que redistribuye el agua tratada serán independientes y deberán ser adecuadamente señalizados. Las tuberías de agua potable, agua tratada, aguas negras y aguas grises se clasificaran por colores y se señalizaran para evitar posibles confusiones.

Las redes serán adosadas a la estructura sin dañarla, cubierto por tabiquería de placas de yeso laminado ayudando a la correcta distribución en la instalación de las tuberías y evitando riesgo de conexiones cruzadas.

Las aguas grises serán canalizadas por gravedad, desde los puntos de producción hasta el sistema de almacenaje de aguas grises, siempre a través de una red separativa de tuberías y con la ventilación correspondiente que se diseñarán según especificaciones del RNE y se identificaran convenientemente. Asimismo, se instalara pre-filtros para la retención de cabellos/pelos en los puntos de desagüe y canalizaciones de las aguas grises, de ésta forma se reducen los problemas de obstrucción en los sistemas de tratamiento, bombeo, etc.

4.1.2. Criterios de diseño:

En el diseño de la red de agua del edificio, existe una dotación en edificios multifamiliares según R.N.E IS.010, donde se debe tener una dotación de agua para consumo humano, de acuerdo con el número de dormitorios de cada departamento, según la siguiente **Tabla N° 7**:

Tabla N° 7: Dotación de agua fría por departamento

Número de dormitorios por departamento	Dotación por departamento l/d
1	500
2	850
3	1200
4	1350
5	1500

Fuente: RNE IS.010

Tabla N° 8: Dotación de agua caliente por departamento

Número de dormitorios por departamento	Dotación por departamento l/d
1	120
2	250
3	390
4	420
5	450

Fuente: RNE IS.010

Con este dato teórico vemos que la dotación diaria por departamento sería de 1200 l/día para agua fría y 390 l/día para agua caliente. Alcanzando para 40 departamentos el total de 63,600 l/día en todo el edificio según RNE. Se analiza este valor como un consumo máximo donde están acumulados distintos volúmenes como el riego de jardines, que no están relacionados con la producción de aguas grises.

El diseño de la instalación para las aguas grises se deberá considerarse los siguientes conceptos básicos:

- **Demanda de agua:**

El dimensionamiento de los equipos se realiza en base a la demanda del agua en los usos a los que se pretende destinar el agua tratada, con el objetivo de evitar el almacenamiento y/o el tratamiento del agua gris que no sería utilizada posteriormente.

- **Producción de agua gris:**

Como aguas grises se consideran generalmente las aguas procedentes de lavamanos, duchas, lavadoras. Se deben excluir las aguas procedentes de cocinas, bidets, inodoros, lavavajillas, procesos industriales o con productos químicos contaminantes y/o un elevado número de agentes patógenos y/o restos fecales.

El volumen de aguas grises aportadas depende principalmente de las características y uso del edificio.

- **Calidad del agua gris:**

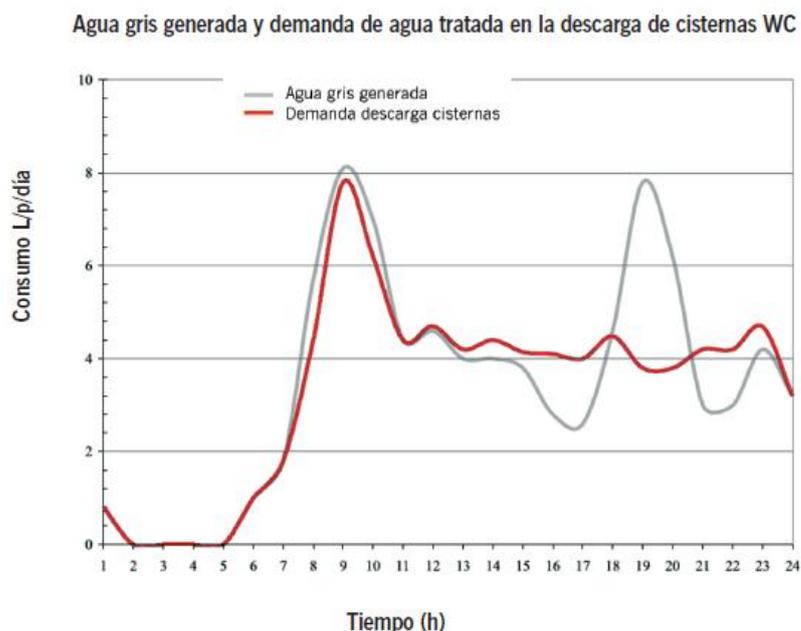
Normalmente, junto con la contaminación orgánica y microbiológica generada en la higiene personal, las aguas grises pueden contener pequeñas cantidades de jabones, champús, dentífricos, cremas de afeitar, detergentes, pelos, aceites corporales, cosméticos, restos de arena y suciedad.

- **Balance hídrico:**

En general, el aporte de aguas grises y el consumo de las aguas una vez tratadas, son muy variables a lo largo del día. Por lo tanto, debe considerarse la instalación de un sistema de almacenamiento que optimice su aprovechamiento, es decir que incluso en horas de baja producción de agua gris se garantice el suministro de agua tratada.

En la figura siguiente podemos ver el ejemplo en una vivienda unifamiliar.

Tabla N° 9: Balance hídrico en cisterna WC (Tanque inodoro)



Fuente: Aqua España, 2011

A partir del balance hídrico, se determinan los volúmenes de acumulación del agua bruta y de la tratada, así como los caudales y flujos de agua. El tiempo de residencia en los depósitos tiene que garantizar el suministro de agua reciclada reduciendo al máximo el aporte de agua de red.

4.1.3. Criterios de instalación:

Se resaltara aspectos de la instalación que se considera de mayor importancia:

- **Capacidad del sistema:**

El diseño del sistema de reciclaje de aguas grises debe realizarse con el objetivo de aprovechar una cantidad relevante de aguas grises de calidad aceptable.

Por este motivo, se desestimarán las aguas residuales de cocina por los grados de contaminación que tiene al contener aceites, componentes tóxicos, etc.

- **Independencia y autoeficiencia del sistema:**

Todos los elementos integrantes del sistema de reutilización de aguas grises deben tener un circuito independiente del sistema de agua apta para consumo

humano, a su vez garantizar el suministro de agua incluso en posible corte de energía o en horas de mantenimiento.

- **Seguridad y señalización:**

El sistema de tratamiento y distribución del agua tratada debe estar debidamente señalizada para que pueda ser identificado como tales de forma fácil e inequívoca como indica en la **Figura N° 7:**



Figura N° 7: Señalización de aguas grises

Fuente: Aqua España, 2011

Asimismo, las tuberías deberán estar adecuadamente señalizadas durante todo su recorrido para evitar posibles confusiones.

- **Redes de distribución:**

La red de distribución del agua tratada será bombeada desde el sótano a los puntos del tanque inodoro, de limpieza y para el riego de jardines, todo esto con un equipo hidroneumático para un mejor funcionamiento del sistema.

4.2. MEDICIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE AGUAS GRISES

En este asiento se presentan los resultados obtenidos de la medición de volúmenes de agua para el consumo humano y producción de aguas grises en una vivienda multifamiliar similar al de nuestro proyecto.

4.2.1. Características de la vivienda multifamiliar

Se realizó un estudio a una vivienda en la inmobiliaria ALTOZANO del 6 al 12 de marzo del 2017, ubicada en la Av. José Abelardo Quiñones s/n frente a la Asociación de vivienda Los Sauces - Cono Sur - Tacna, el cual se registró 4 habitantes, 2 adultos, 2 jóvenes, un área de la vivienda de 74 m², cuenta con 3 dormitorios, una lavandería con lavadora, una cocina con su respectivo lavaplatos y dos baños dotados de ducha y lavamanos. Se escogió esta vivienda por la similitud de distribución que tiene al de nuestro proyecto, tal como se muestra en la **Figura N° 8**:



Figura N° 8: Distribución de vivienda a analizar (ALTOZANO).

Fuente: Altozano. (s.f.)

La metodología es recolectar el agua toda la semana durante las 6 a.m. hasta las 10 p.m. horario en el cual empieza las actividades normales en la vivienda. Se pudo registrar el consumo de agua potable y la frecuencia del uso de generadores de aguas grises según su producción, también se tomó las muestras del agua gris para posteriormente realizar el análisis físico, químico y biológico en el laboratorio.

Para la medición del agua gris se controló colocando recipientes con volúmenes estándares en cada uno de los puntos de vertimiento, adaptándolos para su registro de manera sencilla y precisa. Al final de cada día se tenía un volumen total registrado.

A continuación se explicara los datos obtenidos en el consumo de agua potable y la producción de agua gris.

4.2.2. Consumo de agua potable en la vivienda:

El consumo de agua potable en la vivienda se tiene a una relación de costumbres que se realizó durante la semana y en esta época de verano se mantiene la temperatura entre 24 a 32 grados lo que hace que el consumo de agua sea mayor.

El uso de la lavadora es 3 días por semana y se usa un promedio de 80 litros por una lavada, se frecuenta todos los días la limpieza de pisos al igual que la limpieza de servicios, el agua en los alimentos se considera todos los días, el uso frecuente de la ducha por lo menos una vez al día por persona, el riego de jardines no tiene gran incidencia ya que los jardines se encuentran fuera del edificio por lo que se considera un porcentaje de aporte por vivienda.

Tabla N° 10: Puntos de consumo de agua en viviendas

N°	Punto
1	Lavadora
2	Ducha
3	Lavamanos
4	Lavaplatos
5	Inodoro
6	Lavadero
7	Limpieza de pisos
8	Consumo humano
9	Preparación de alimentos
10	Riego en jardines

Fuente: Elaboración propia

En resumen se utilizó una ecuación de consumo consolidado con valores aproximados según Niño y Martínez, (2013).:

Ecuación 1:

$$CC = \frac{C1 * D1 + C2 * D2}{7}$$

Dónde:

CC: Consumo consolidado

C1: Consumo obtenido día 1

D1: Número de días 1 (día normal en la semana)

C2: Consumo obtenido día 2
 D2: Número de días 2 (usando la lavadora)

Calculando:

$$CC = \frac{484.8 * 5 + 596 * 2}{7} = 516.57 \text{ l/d}$$

Obtenemos un consumo promedio consolidado de 516.57 l/día en la vivienda, teniendo un consumo per cápita de 129.14 l/hab/día. Con este dato analizamos la producción de aguas grises.

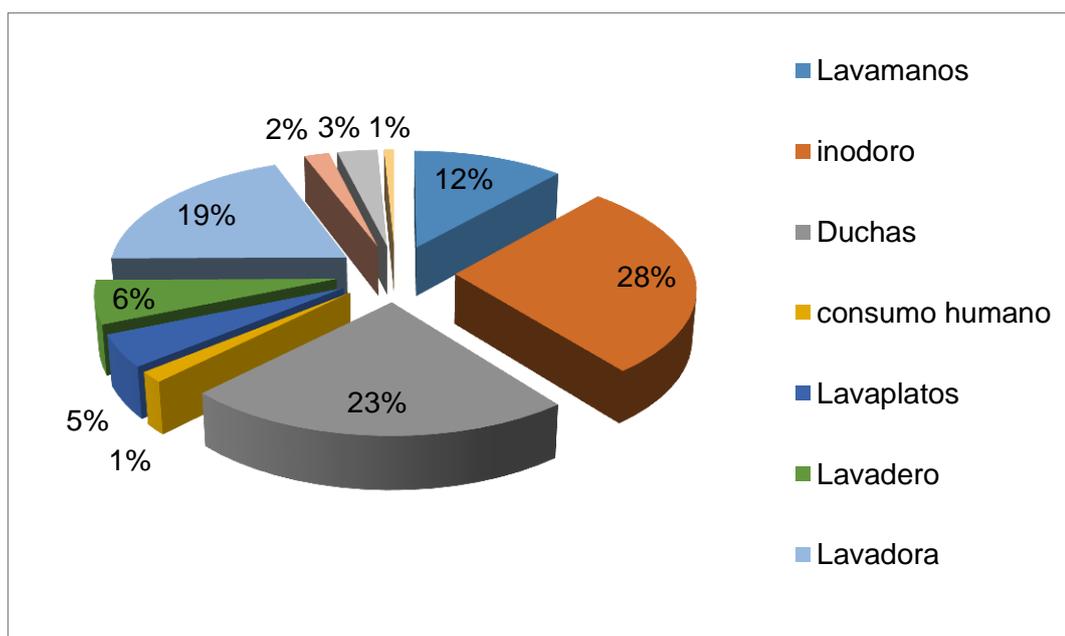


Figura N° 9: Consumo de agua potable per cápita en vivienda

Fuente: Elaboración propia

Se muestra en la **Figura N° 9**, que los puntos de mayor consumo son: el tanque inodoro, ducha, lavadora, lavamanos y el lavadero.

4.2.3. Producción de aguas grises

La producción de aguas grises se dio por la cantidad de usos por servicio, teniendo en cuenta los litros producidos aproximados.

Tabla N° 11: Cantidad de veces por uso de agua gris

AGUAS RESIDUALES EN VIVIENDA MULTIFAMILIAR - 4 PERSONAS										
DESCRIPCIÓN	N° DE APARATOS	AGUA GRIS	AGUA NEGRA	CANTIDAD DE USO/DÍA						
				L	M	M	J	V	S	D
Inodoro	2		x	27	24	25	23	26	25	24
Lavamanos	2	x		28	30	26	27	29	27	23
Duchas	2	x		4	4	4	4	4	3	4
Lavaplatos	1	x		4	4	3	5	5	3	2
Lavadero	1	x		6	5	5	6	4	2	5
Lavadora	1	x		0	0	0	0	0	2	2
Limpieza de pisos	1	x		1	1	0	0	0	1	1
Otros				1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla N° 11**, se muestra el consumo habitual en la vivienda haciendo un conteo de veces que son usados los productores de agua gris.

Tabla N° 12: Volumen de agua gris por día

AGUAS RESIDUALES EN VIVIENDA MULTIFAMILIAR - 4 PERSONAS										
DESCRIPCIÓN	LITROS/PROM	AGUA GRIS	AGUA NEGRA	CANTIDAD EN LITROS/DÍA						
				L	M	M	J	V	S	D
Inodoro	6		x	162	144	150	138	156	150	144
Lavamanos	2	x		56	60	52	54	58	54	46
Duchas	30	x		120	120	120	120	120	90	120
Lavaplatos	20	x		80	80	60	100	100	60	40
Lavadero	8	x		48	40	40	48	32	16	40
Lavadora	80	x		0	0	0	0	0	160	160
Limpieza de pisos	15	x		15	15	0	0	0	15	15
Otros	2	x		2	2	2	2	2	2	2
TOTAL AGUAS GRISES				321	317	274	324	312	397	423
TOTAL AGUAS NEGRAS				162	144	150	138	156	150	144

Fuente: Elaboración propia

Vemos en la **Tabla N° 12**, las cantidades de agua gris que produce el departamento al día, teniendo un máximo de producción de 423 l/día y mínimo de 274 l/día.

Con los siguientes datos podemos determinar la producción de aguas grises, negras y de no retorno:

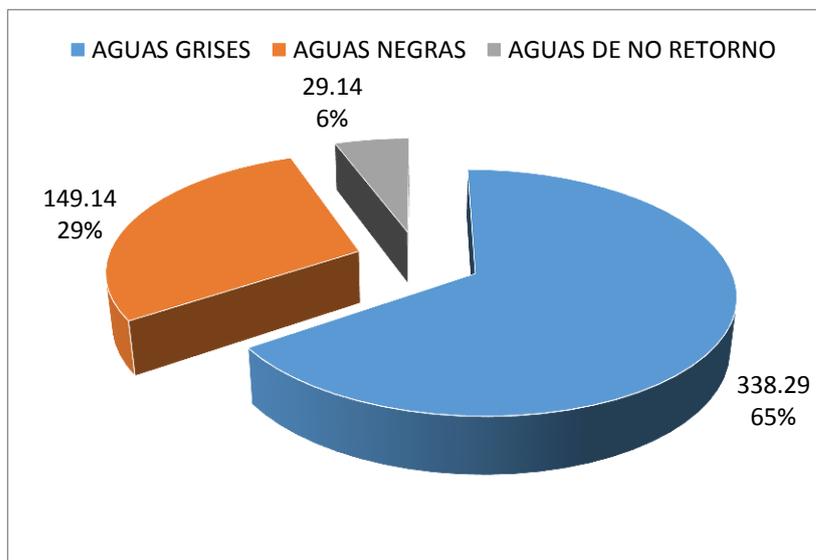


Figura N° 10: Volúmenes promedio del consumo por departamento

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura N° 10**, muestra que la dotación total del departamento, un 65% representa las producción de aguas grises, 29% las aguas negras y 6% de aguas no retorno.

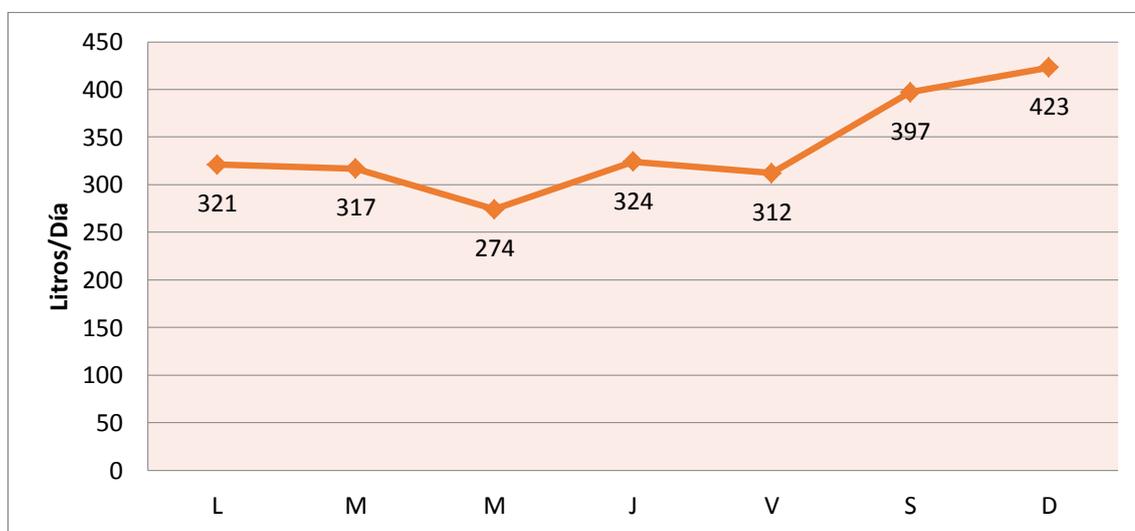


Figura N° 11: Variación en la producción de aguas grises por departamento

Fuente: Elaboración propia

Se observa en **Figura N° 11** las costumbres del uso del agua en el departamento, siendo el día domingo el de mayor producción de aguas grises con una producción per cápita de 105.75 l/hab/día.

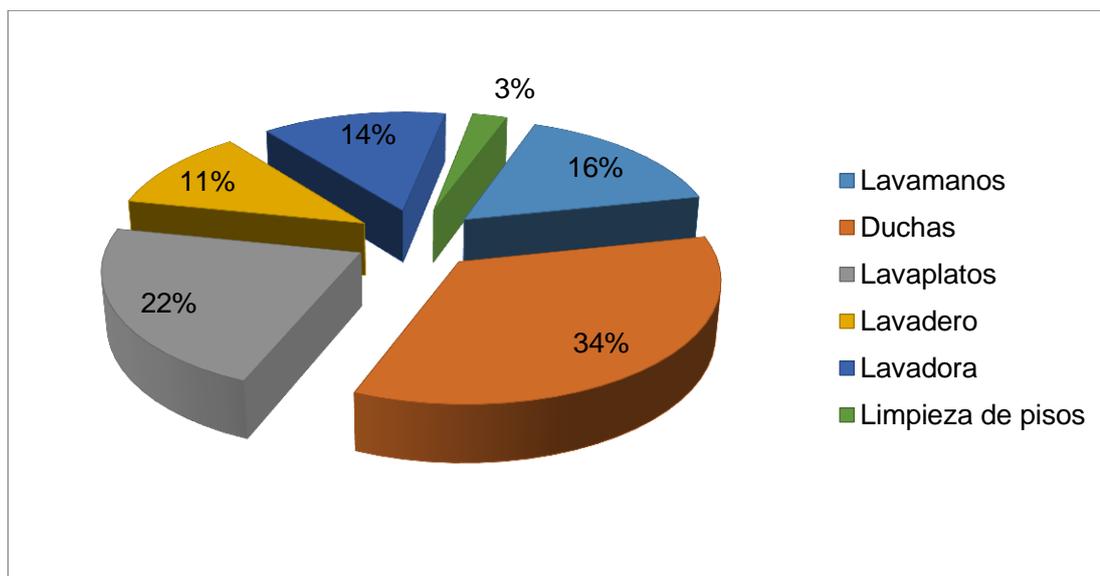


Figura N° 12: Producción promedio de aguas grises en la vivienda

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura N° 12**, se tiene un promedio ponderado de la producción de aguas grises de 84.57 l/hab/día. Los puntos donde se captara el agua para el tratamiento será: Ducha (34%), Lavamanos (16%), Lavadora (14%) y Lavadero (11%). Son los puntos donde hay mayor producción y consumo en el departamento, utilizando el 75% de todas las aguas grises que nos da 63.43 lt/hab/día.

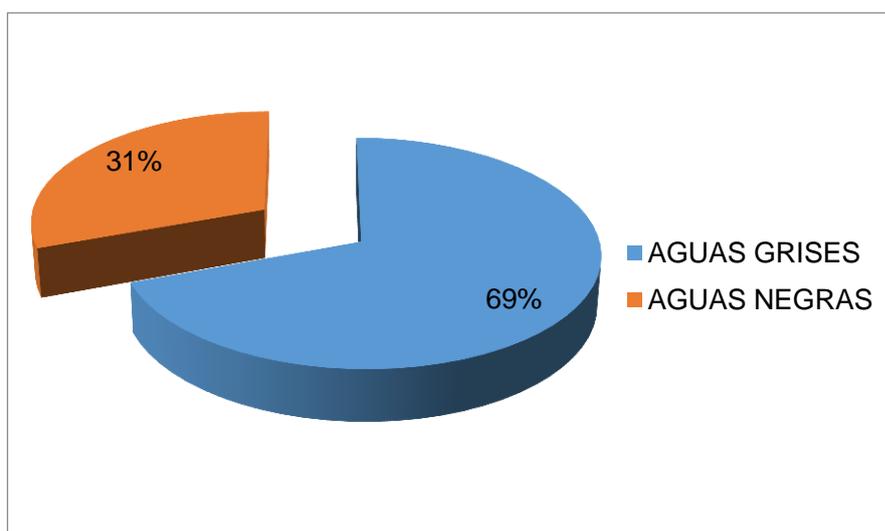


Figura N° 13: Comparación de la producción de aguas grises vs. aguas negras

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura N° 13**, se muestra la comparación de aguas negras y aguas grises en el departamento, teniendo un 69% las aguas grises y 31% las aguas negras.

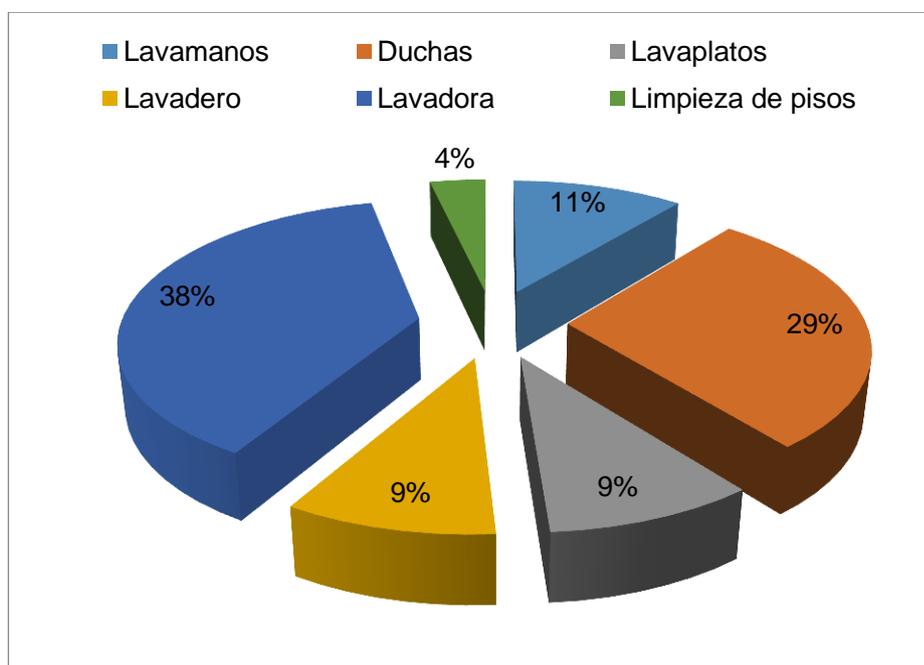


Figura N° 14: Día con mayor producción de aguas grises

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura N° 14**, se observa que en el mayor día de producción se tendrá 87% del total de aguas de grises en el departamento, que equivale a 91.35 l/hab/día.

4.2.4. Revisión y análisis de las características de las aguas grises según Niño y Martínez

A continuación se muestra la compilación de resultados en los análisis de las aguas grises de distintos autores:

Tabla N° 13: Análisis de las características en las aguas grises

PARAMETRO	RESULTADO DE ANÁLISIS	DATOS DE REFERENCIA	REFERENCIA
Aluminio (mg AL/l)	< 1	0.01 – 0.5	Li, Wichmann, & Otterpohl, 2009
Arsénico (mg As/l)	< 0,05	< 0.01	Hypes, W. 1974

Bario (mg Ba/l)	< 0,05	< 1	Hypes, W. 1974
Calcio (mg Ca/l)	9,87 - 21,6	0.1 - 1.4	Li, Wichmann, & Otterpohl, 2009
Cromo Total (mg Cr/l)	< 0,05	< 0.05	Hypes, W. 1974
Plata (mg Ag/l)	< 0,01	< 0.05	Hypes, W. 1974
Molibdeno (mg Mo/l)	< 0,5	0.2 – 0.5	Li, Wichmann, & Otterpohl, 2009
Magnesio (mg Mg/l)	5,43 - 7,75	0.4 – 5.0	Li, Wichmann, & Otterpohl, 2009
Acidez total (mg/l)	5,4 - 12,2	-	NR
Dureza Total (mg CaCO ₃ /l)	45,3 - 83,8	-	NR
Turbidez (NTU)	74 - 87,6	29 – 375	Li, Wichmann, & Otterpohl, 2009
Alcalinidad total (mg CaCO ₃ /l)	42,5 - 49,2	12 – 35	Jamrah, Al-Futaisi, Prathapar, & Al Harris, 2008
Sólidos totales (mg/l)	426 - 454	20 – 126	March, Gual, & Orozco, 2004
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	99 - 135	25 – 183	Li, Wichmann, & Otterpohl, 2009
Sólidos suspendidos volátiles (mg/l)	74 - 107	28 – 87	Hocaoglu, Insel, UbayCokgor, & Baban, 2010
Conductividad (µS/cm)	278,9 - 301	82 – 1845	Chaillou, Gérente, Andrès, & Wolbert, 2011
Fósforo total (mg P/l)	2,66 - 3,99	0.1 – 2.0	Chaillou, Gérente, Andrès, & Wolbert, 2011
Sulfatos (mg SO ₄ ²⁻ /l)	9,5 - 41,3	83 – 160	Hypes, W. 1974
Cloruros (mg Cl ⁻ /l)	23,9 - 26,2	20 – 30	Hypes, W. 1974
pH (Potencial de hidrógeno)	6,17 - 6,84	6.3 – 8.1	Li, Wichmann, & Otterpohl, 2009
NTK (mg N/l)	5,6 - 9,6	1.7 – 34.3	Li, Wichmann, & Otterpohl, 2009
Oxígeno Disuelto (mg O ₂ /l)	1,41 - 1,87		NR
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) (mg O ₂ /l)	240 - 327,4	47 – 466	Li, Wichmann, & Otterpohl, 2009
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg O ₂ /l)	519,2 - 591,9	100 – 700	Li, Wichmann, & Otterpohl, 2009

Grasas y aceites (FOG) (mg/l)	32,5 - 53,2	7 – 230	AlJayyousi, 2003
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	10,0 - 73,0	0.1 – 1.5 x 10 ⁸	Halalsheh, M. et al, 2008
Coliformes totales (NMP/100 mL)	24196 - 24200	56 – 8.03 x 10 ⁷	Halalsheh, M. et al, 2008
Escherichia coli (UFC/100 mL)	8 - 140	0 – 2.51 x 10 ⁷	Chaillou, Gérente, Andrés, & Wolbert, 2011
Surfactantes o Tensoactivos (Sustancias activas al azul de Metileno - MBAs) (SAAM) (mg/l)	15,07 - 34,69	45 – 170	AlJayyousi, 2003

Fuente: Niño y Martínez, (2013)

Donde se indica NR, es donde no se ha podido encontrar alguna referencia bibliográfica.

En la **Tabla N° 13**, la columna “RESULTADO DE ANÁLISIS” se referencio a la Tesis “ESTUDIO DE LAS AGUAS GRISAS DOMÉSTICAS EN TRES NIVELES SOCIOECONÓMICOS DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ” de E. Niño Rodríguez y N. Martínez Medina (2013), donde se realizó ensayos del agua gris con las características similares a la vivienda, haciendo la medición de consumo y producción de las agua grises.

En los datos de referencia se muestra los parámetros que establecen distintos autores, y vemos que en la mayoría de análisis del trabajo realizado por Niño y Martínez, se encuentran al margen de los parámetro de los referenciados. Por ejemplo: DBO, DQO, pH, Coliformes totales, etc.

Los estándares para el efluente exigidos en este proyecto ya mencionados en el Capítulo II respecto a las características del agua gris, cumplen automáticamente en ciertos parámetros. Por ejemplo el índice de Arsénico para la Ciudad de Tacna es < 0,05 mg/l y en los parámetros de los ECA nos exige 0.1 mg/l para el Riego restringido. Así como el pH se mantiene en el rango permitido. Véase esta comparación en el **(ANEXO 3)**.

Estos estudios están sujetos al nivel social, cultural y económico de la población que genera el agua gris ya que pueden variar los datos debido a estos indicadores.

4.3 DISEÑO DEL SISTEMA EN EL EDIFICIO

4.3.1. Volumen de agua gris en el edificio

Con los resultados de producción de los de aguas grises obtenidas del departamento analizado y la densidad de población proyectada en el edificio tenemos los siguientes datos en la **Tabla N° 20**:

Tabla N° 14: Producción mínima, media y máxima de agua gris por habitante

DATOS DEL EDIFICIO	DATOS DEL ESTUDIO		
Cantidad de habitantes	Producción mínima de aguas grises	Producción media de aguas grises	Producción máxima de aguas grises
240 habitantes	53.43 l/hab/día	63.43 l/hab/día	91.35 l/hab/día

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 15: Volumen mínimo, medio y máximo de agua gris en el edificio

DOTACIÓN		
Total de aguas grises producido en el edificio		
Mínima	Media	Máxima
12,823.2 l/d	15,223.2 l/d	21,924 l/d
12,82 m ³ /d	15,22 m ³ /d	21,92 m ³ /d
0.15 l/s	0.18 l/s	0.25 l/s

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla N° 15**, se tiene el total de aguas grises generadas por el lavamanos, duchas, lavadero y lavadoras. Alcanzando un máximo de 21,92 m³/d.

En la siguiente **Tabla N° 16** se muestran los volúmenes de los efluentes a tratar:

Tabla N° 16: Volumen promedio de producción de agua gris

Producción lavamanos	13.57	l/hab/día
	3256.80	l/día
Producción en la ducha	28.93	l/hab/día
	6943.20	l/día
Producción lavadero	9.43	l/hab/día
	2263.20	l/día
Producción lavadora	11.43	l/hab/día
	2743.20	l/día
Total producido	15,206.40	l/día

Fuente: Elaboración propia

Se muestra en la tabla N° 16 el total de agua gris promedio, produciendo 15,206.40 l/d.

La producción de aguas grises varía dependiendo el clima y localidad, por lo que se necesita hacer un balance hídrico para optimizar el sistema de almacenamiento, es decir que incluso en horas de baja producción de agua gris se garantice el suministro de agua tratada.

4.3.2. Volumen de consumo en los puntos de distribución de agua tratada:

El volumen de consumo de los puntos donde se va a distribuir el agua tratada (Tanque inodoro, limpieza de pisos y riego de áreas verdes) se describiría a continuación según los datos calculados de la **Tabla N° 17**:

Tabla N° 17: Volumen máximo de demanda en los puntos de distribución de agua tratada

Demanda del tanque inodoro	40.50	l/hab/día
	9720.00	l/día
Demanda limpieza de pisos	15	l/viv/día
	600	l/día
Demanda riego de áreas verdes	2	l/m ²
	3600	l/día
Total demandado	13,920.00	l/día

Fuente: Elaboración propia

De los datos de la **Tabla N° 16 y 17**, se ve que la producción es inferior a la demanda en los puntos donde se abastecerá con agua tratada, lo cual se garantiza con la generación de agua gris en el edificio.

El riego de áreas verdes abarca 1800 m², que puede ser una actividad manejable en función a la cantidad de agua tratada disponible.

4.3.3. Variación en la producción de aguas grises por habitante

Este punto es muy importante para que se coordine los volúmenes de almacenamiento y tratamiento eficientemente en función a los hábitos de los propietarios y los cambios climatológicos. Es por eso que se recomienda una vez que esté en funcionamiento el sistema de reciclaje se haga los balances hídricos para la regulación permanente.

En la **figura N° 15** se muestra el balance hídrico que presentó la vivienda evaluada para nuestro proyecto:

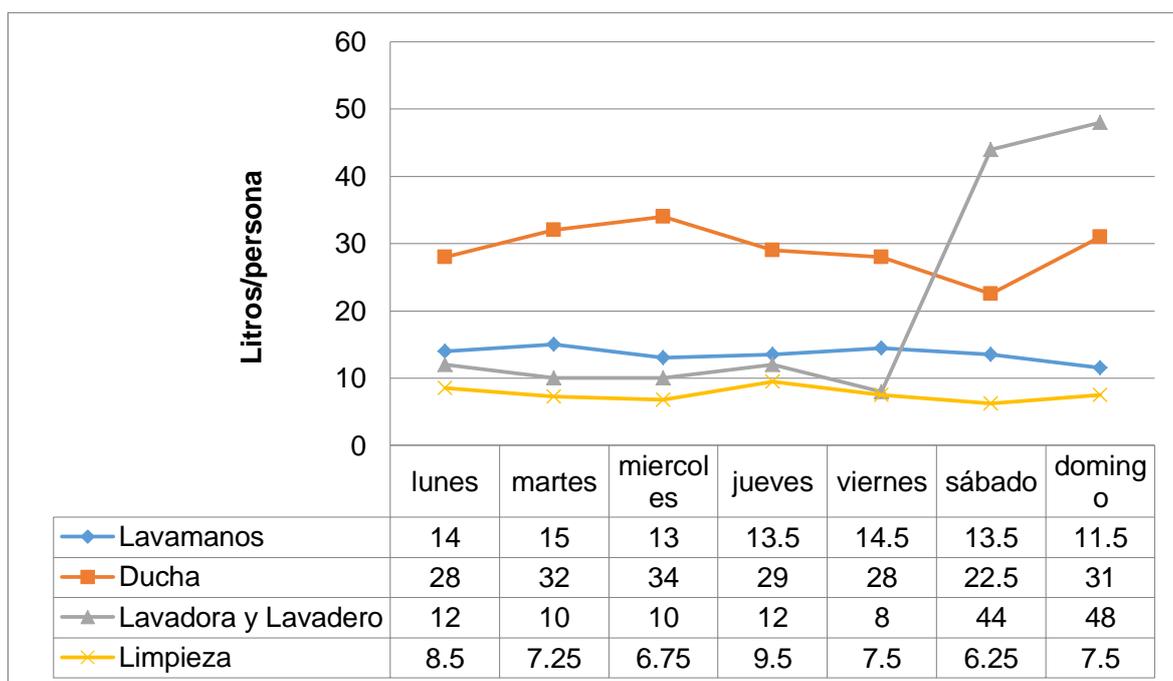


Figura N° 15: Variación en la producción de aguas grises por habitante

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del balance hídrico en la vivienda son producto promedio del uso habitual en los principales generadores de agua gris (lavamanos, ducha, lavadoras y el lavadero).

La lavadora es un generador importante en la producción, pero no se puede predecir con exactitud su uso por las distintas costumbres que se tiene en el lavado, pero se puede forzar a llevarlo a estos parámetros de uso mostrado en la **figura N° 15**, creando ciertos reglamentos en el edificio que ayude tanto a la educación

sanitaria y al sistema de reciclaje. A continuación se mostrara los balances en la demanda que habrá para el sistema de reciclaje:

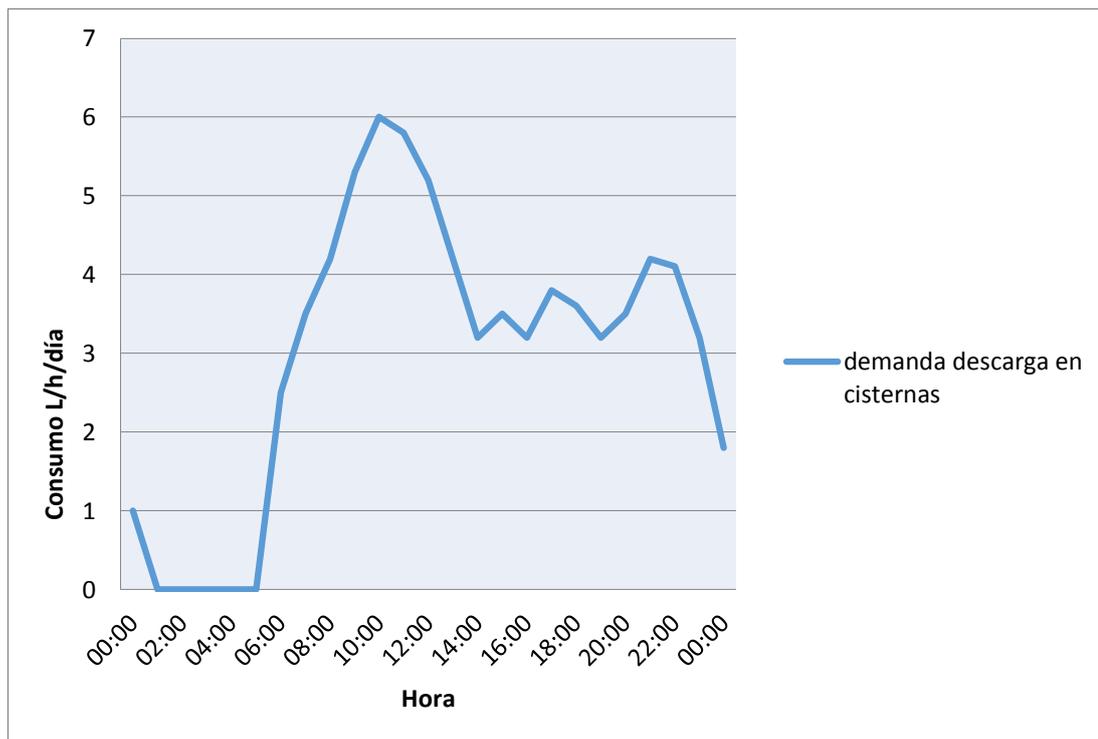


Figura N° 16: Demanda en la descarga del tanque cisterna

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura N° 16**, se expresa la demanda del tanque inodoro en 6 litros por uso, y esto nos indica que el frecuencia de uso del tanque inodoro se mantiene alto entre estos horarios y se sabe que la máxima demanda en todo el edificio es de 9,720 litros/día como máximo.

En la **figura N° 17**, se muestra la variación de la producción de agua gris en duchas:

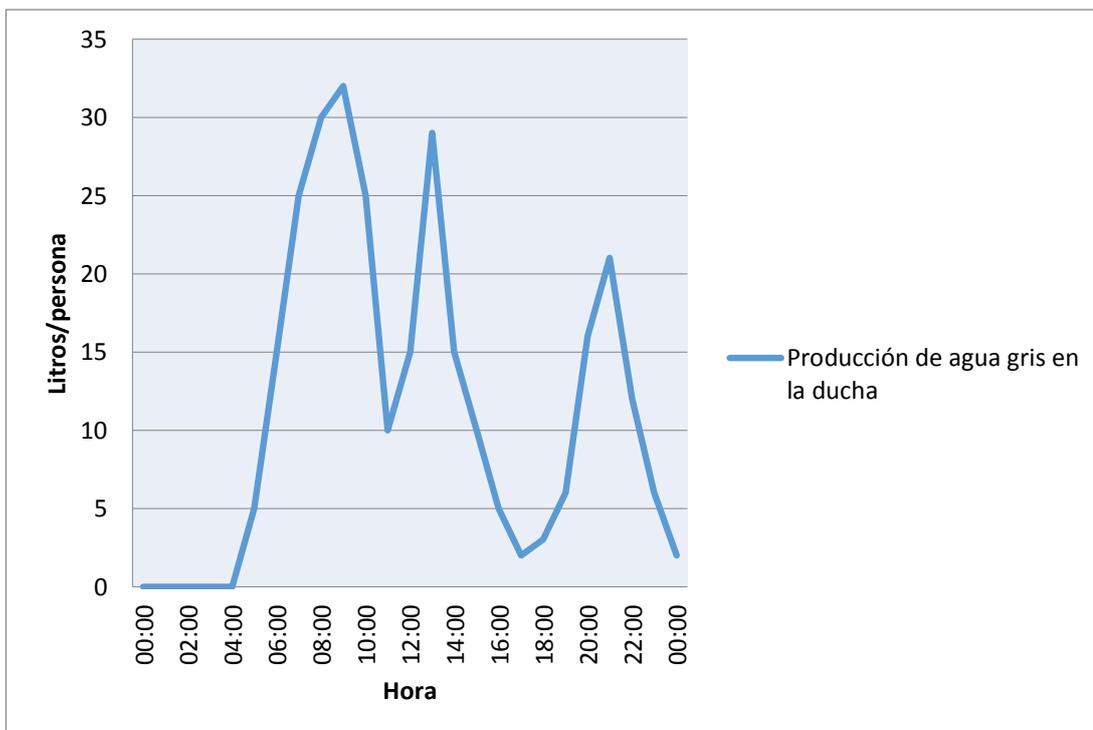


Figura N° 17: Producción de aguas grises en la ducha

Fuente: Elaboración propia

Si observamos la **Figura N° 17**, el comportamiento del uso de la ducha se establece en estos horarios habituales. Dependiendo de los hábitos del propietario y el clima, algunas personas en temporadas de verano llegan a bañarse 2 veces a más y en invierno una vez al día o una vez cada dos días. Esto afecta sustancialmente a nuestra planta de tratamiento, por la capacidad de almacenaje y distribución que se puede tener.

Tenemos un cálculo promedio de 6943.20 l/día, solamente producidos por la ducha y acumulado con el lavamanos que es 3256.80 l/día, se hace efectivo para la demanda de los tanques inodoros sin complicaciones.

En la demanda de la limpieza de pisos alcanza los 600 l/día como máximo, y vemos en la **Figura N° 15** que la curva de producción de limpieza de pisos está por debajo del lavamanos y el lavadero, por el cual, se garantiza la demanda de limpieza de pisos con la producción de ambos.

El riego en jardines está en función al tipo de vegetación y de la estación del año, el RNE indica unos 2 l/día por m².

Calculando para 1800 m² de áreas verdes correspondientes al edificio, la demanda será de 3600 litros/día aproximadamente. Para esta demanda se usará el

agua gris generada de la lavadora. Teniendo un volumen de producción variable de 2743.20 l/día promedio y en los días de mayor producción puede llegar hasta 9600 l/día, ya que su producción puede incrementarse como disminuir en ciertos días. En el análisis hecho en el departamento vemos que los días sábados y domingos son los que más se usa la lavadora.

Se sabe que el agua gris generada de la lavadora es suficiente para abastecer el riego de áreas verdes. En el caso de que el volumen de las aguas grises tratadas no sea suficiente para el abastecimiento del riego, se complementara con agua potable.

Se condiciona el riego de áreas verdes a que sea en los días de mayor producción de la lavadora para tener el volumen adecuado.

Es por eso que se recomienda que a los propietarios se los capacite para hacer un buen uso de las agua grises y las aguas tratadas, teniendo en cuenta que el sistema de reciclado protegerá su entorno y la calidad de vida.

4.3.4. Consumo de agua potable en el edificio:

Se encuentra con dos tipos de dotación de agua potable, la calculada en el departamento analizado y la dotación teórica según el RNE. En la calculada en el departamento se obtuvo una dotación per cápita de 129.14 l/hab/día, y en la teórica son 1590 litros por departamento al día (agua fría y agua caliente para 3 dormitorios).

Para tener un margen del porcentaje de ahorro y los costos del servicio se hace un resumen de las dos dotaciones en la siguiente **Tabla N° 18**:

Tabla N° 18: Dotación de agua en el edificio

	Dotación media per cápita l/hab/día	Dotación RNE l/dep/día	Hab	Departamentos	CONSUMO TOTAL	
Calculado	129.14		240		30,993.60	l/día
Teórico		1590.00		40	63,600.00	l/día

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla N° 18**, que el consumo en el edificio para la dotación calculada es de 30,993.60 l/día y la dotación según el RNE para el edificio sería 63,600.00 l/día.

Se entiende que la dotación hecha por el RNE abarca distintos volúmenes que son utilizados en el edificio pero que no todos están ligados a la producción de

aguas grises. El cálculo de dotación promedio diaria por habitante, se realizó obteniendo la información de manera estadística en el departamento siendo válida por el RNE, según la OS.100, “Consideraciones básicas de diseño de infraestructura sanitaria). Los datos de todos los puntos de consumo, fueron analizados y observados según las costumbres de los propietarios que viven en departamentos donde el mayor consumo se da en la ducha, tanque inodoro, lavadora y lavaplatos.

4.3.5. Diseño de las redes de captación y distribución:

El diseño para las redes de almacenamiento y distribución seguirá los pasos del Reglamento Nacional de Edificaciones, IS.010 “Instalación sanitaria para edificaciones” pero al no haber referencia a redes de agua tratada se tomara criterios bajo sustento técnico.

- **Redes de captación aguas grises:**

La red de desagüe se dividirá en dos redes, red de aguas grises y red de aguas negras, y se identificarán como tales mediante un color específico guiándose de la NTP 399.012 donde el color verde identifica las tuberías de agua, se puede optar el verde con negro para aguas negras y el verde con gris para aguas grises, acompañada de etiquetas donde indique la dirección del flujo y/o descripciones que señalicen que son elementos donde contienen aguas grises, como por ejemplo:

- CANALIZACIÓN DE AGUAS GRISES
- CONTIENE AGUAS GRISES
- ATENCION, AGUAS GRISES

La tubería será de PVC, especial para recolección de aguas residuales, de fácil instalación y económico. Las tuberías deben tener una separación mínima de 0.20 m entre sus generatrices más próximas, y es recomendable que este más aislado de las tuberías de agua caliente de manera que eviten la formación de condensación. Los aparatos sanitarios, depósitos o partes del sistema de agua, con dispositivos que descarguen al sistema de desagüe de la edificación, lo harán en forma indirecta, a fin de evitar conexiones cruzadas o interferencias entre los sistemas de distribución de agua para consumo humano y de redes de aguas residuales.

La instalación de sus montantes deben ser colocados en espacios donde permita su reparación, revisión o remoción. El sistema de desagüe debe ser

adecuadamente ventilado, a fin de mantener la presión atmosférica en todo momento y proteger el sello de agua de cada una de las unidades del sistema.

Aspectos de diseño:

Esta red de aguas grises deberá llenar las condiciones siguientes:

- Evacuar rápidamente las aguas, alejándola de los aparatos sanitarios.
- Impedir el paso del aire, olores y organismos patógenos de las tuberías al interior del edificio.
- Las tuberías deben ser de materiales durables e instalados de manera que no se provoquen alteraciones con los movimientos del edificio.
- Los materiales de las tuberías deben resistir la acción corrosiva de las aguas que transportan.

Se aconseja que el sistema de ventilación sea con válvulas de admisión de aire que consiste en un método que permite la entrada de aire al sistema de drenaje sin utilizar una ventilación abierta al aire exterior y evitar el escape de los gases del drenaje al interior del edificio.

Para diseñar los diámetros en la red se calcula las unidades de descarga por departamento siendo la distribución simétrica en todo el edificio.

En la siguiente **Tabla N° 19** se muestran las unidades de descarga por departamento:

Tabla N° 19: Unidades de descarga por departamento

UNIDADES DE DESCARGA POR DEPARTAMENTO				
APARATOS	UND	U.D.	U.D TOTAL	Ø (Pulg.)
lavatorio	2	1	2	2
ducha	2	2	4	2
lavadero de ropa	1	2	2	2
sumidero (lavadora)	1	2	2	2
POR DEPARTAMENTO			10	
POR PISO			40	

Fuente: Elaboración propia

Criterios de diseño:

Se muestra en la **Tabla N° 19**, los puntos de generación de aguas grises, que genera 40 Unidades de descarga por piso y se tiene las dimensiones para canalizar el agua gris en el edificio, siendo los ramales horizontales de 2" que evacuaran por gravedad al montante principal. La distribución en planta está en el **(ANEXO 6)**.

- **Red de distribución del agua tratada**

La red suministrara a los siguientes puntos: el tanque inodoro, la limpieza de pisos y riego de áreas verdes, lo conveniente es usar esta agua tratada en actividades donde no se requiera una calidad de agua como la potable.

Para el diseño de esta red se usara un sistema a presión con tanque hidroneumático, este sistema evita hacer uso de tanques elevados, por lo que cuenta con un sistema de tanques parcialmente llenos con aire a presión. Esto hace que la red mantenga una presión constante, mejorando el funcionamiento de los aparatos o actividades donde se utilizara el agua tratada.

Aspectos de diseño:

La instalación de las tuberías se regirá al RNE, tomando los siguientes puntos: La tubería de agua tratada ira adosada a la estructura fijándose a la estructura evitando que se produzcan esfuerzos secundarios, la tubería compartirá el mismo ducto donde este la red de agua para consumo humano, agua caliente y agua residual, teniendo una separación mínima de 0.20 m entre sus generatrices más próximas.

Esta red debe ser instalada en espacios especialmente previstos para tal fin y cuyas dimensiones y accesos deberán ser tales que permitan su instalación, revisión, reparación, remoción y mantenimiento.

También contara con medidores de consumo en la salida al edificio y para el riego de áreas verdes, teniendo un mayor control del volumen de agua tratada. La cisterna donde se almacenara el agua tratada contara con controladores de nivel con interruptores automáticos cuando haya baja o alta producción.

En el caso que no haya suficiente producción de agua tratada, se suministrara agua potable mediante una tubería que no tenga contacto con el agua tratada hasta llegar al nivel de agua adecuado.

Criterios de diseño:

Se recomienda que las tuberías de la red de agua tratada tengan las características para dicho fin o pueden también ser utilizadas con las mismas características de la red de agua potable. En el mercado se encuentra un tipo de tuberías PAVCO dedicada al distribución de aguas grises y pluviales tratadas, esta clase de tubería es de color purpura (el estándar de la industria para sistemas de agua reciclada) que está diseñada para esta aplicación, como agua recuperada no potable. Otro tipo de tuberías son de PP (Polipropileno) que tienen excelentes características pero el costo es elevado y en el Perú no es tan comercial.

El punto más importante para la distribución del agua tratada será el del tanque del inodoro, luego un punto de limpieza que se encontrara en la lavandería alejada del contacto de los niños y bien identificada.

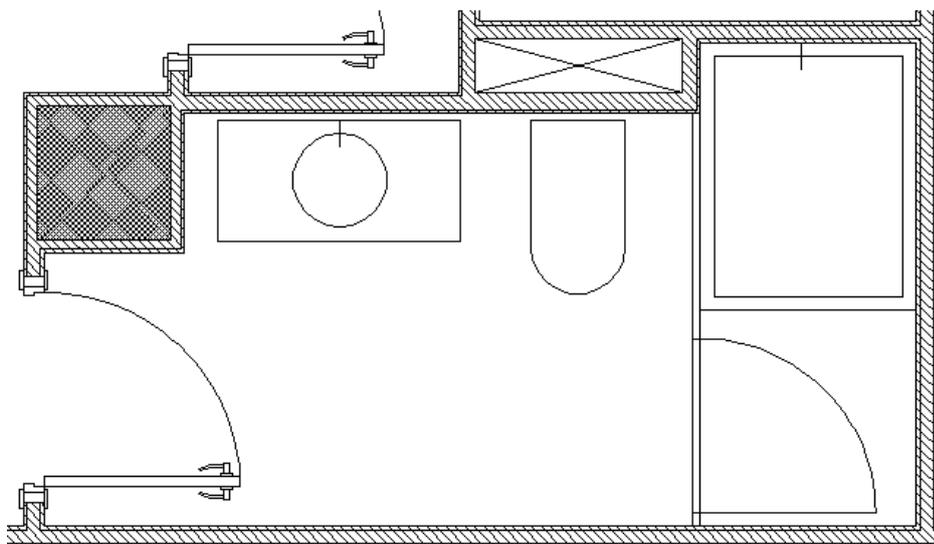


Figura N° 18: Distribución del baño típico en los departamentos

Fuente: San Pedro de Latarce – Tacna, (s.f.).

En la **Figura N° 18**, se muestra la distribución típica de los baños en el edificio. Los ductos para la red de aguas grises serán previstos en la construcción, estará adosada a la estructura luego cubierta por la tabiquería de placas de yeso laminado, para el mayor espacio y fácil instalación. En el **(ANEXO 7)** se muestra la distribución del agua tratada en los departamentos.

4.4 DESARROLLO DE LA PLANTA MODULAR DE TRATAMIENTO:

4.4.1. Planta modular para tratamiento de aguas grises:

La planta de tratamiento modular diseñada para este edificio se caracteriza por incorporar un tratamiento aeróbico y anaeróbico, acompañados de un sistema de floculación, decantación y por último el módulo de desinfección para el vertimiento del agua tratada en fuentes donde no sea necesario la calidad del agua potable. El esquema de la planta modular de tratamiento se muestra en el **(ANEXO 8)**.

Su fácil instalación, operación y un tamaño reducido, se alza como una propuesta que cambiara el concepto del tratamiento de aguas grises, enfocado para el uso doméstico e industrial, haciendo uso mínimo de requerimiento de químicos con un bajo consumo eléctrico, teniendo una vida útil aproximadamente de 20 años.

4.4.2. Características de la planta de tratamiento:

El material pensado para esta planta es de poliéster reforzado en fibra de vidrio (Alta resistencia mecánica). El sistema está compuesto para un tratamiento biológico; tanque estructural cilíndrico horizontal, moldeado, atornillado y de doble pared, sus dimensiones son 4.00 metros de largo y 2 metros de diámetro, teniendo un volumen total de 12.56 m³ a un nivel de agua efectivo que será de 1.80 metros, el nivel de agua máximo será de 1.9 metros y el mínimo 1.60 metros.

El diseño de la planta cubre la producción máxima de 91.35 litros de agua gris por persona/día, teniendo un caudal promedio de 0.25 l/s, operando las 24 horas.

El punto más delicado de todo el proceso de diseño es la selección del Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) y la carga orgánica (CO) apropiada. Una selección incorrecta de estos parámetros comprometerá la confiabilidad de todo el proceso de diseño. En caso de que no exista un estudio que haya determinado experimentalmente estos parámetros para las condiciones locales, estos dos valores se obtienen generalmente de una revisión cuidadosa de bibliografía especializada.

El dimensionamiento de la planta estará en función con el tiempo de retención hidráulico que se haya con la siguiente ecuación:

Ecuación 2:

$$TRH = \frac{V}{Q}$$

TRH = tiempo de retención hidráulica (h)

V = Volumen de la planta (m³)

Q = Caudal (m³/h)

$$\frac{12566}{0.9} = 13.96 \text{ horas}$$

Son 13.96 horas de retención hidráulica para que cumpla con el ciclo de tratamiento adecuado, para este tipo de procesos combinados el TRH debe estar entre 12 a 15 horas.

4.4.3. Procesos para el tratamiento del agua gris:

Los procesos de tratamiento seguirán los parámetros del RNE OS.090 “Plantas de tratamiento de aguas residuales”. A continuación se explicara los procesos de tratamiento que tendrá este sistema:

4.4.3.1. Criba de desbaste:

Las cribas de desbaste son necesarias en todas las plantas de tratamiento, así sean las más simples. Es ideal para proteger la planta de tratamiento de posibles objetos capaces de provocar obstrucciones en las diferentes etapas del tratamiento, logrando una separación efectiva de solidos suspendidos y desbaste fino mayores, incorpora una lámina y rejilla de separación en acero inoxidable, que es de fácil mantenimiento y limpieza.

Aspectos de diseño:

- a. Se utilizarán barras de sección rectangular de 5 a 15 mm de espesor de 30 a 75 mm de ancho. Las dimensiones dependen de la longitud de las barras y el mecanismo de limpieza.
- b. El espaciamiento entre barras estará entre 5 y 10 mm. Por encontrarse con sólidos pequeños en la red de aguas grises.
- c. Las dimensiones y espaciamiento entre barras se escogerán de modo que la velocidad del canal antes de y a través de las barras sea adecuada.
- d. El ángulo de inclinación de las barras de las cribas de limpieza manual será entre 45 y 60 grados con respecto a la horizontal.

- e. La criba de desbaste estará fija sobre una base de concreto, y contara con un rebose para cuando exceda la producción de aguas grises y una limpia para el mantenimiento de la planta.
- f. Se hará la limpieza la criba 2 a 3 veces por semana según la cantidad de partículas que haya retenido para que no provoque alguna obstrucción.
- g. En el último compartimiento se colocara una bomba sumergible de 320 watts, a un caudal máximo de 7000 lt/h, la bomba será especial para aguas sucias con aberturas de 25 mm para que no genere alguna obstrucción con cualquier partícula al succionar, tendrá un control de nivel mediante una boya calibrada y un diámetro de salida de 1 1/2”.

Esta unidad será fabricada con poliéster reforzado en fibra de vidrio para el tratamiento preliminar de las aguas grises, comprenderá de 3 cámaras (Dos cámaras de desbaste y un depósito de agua para su bombeo) cuya dimensión de los dos primeros compartimientos serán de 0.80 metros de ancho, 0.80 metro de largo y 1.70 metros de alto, el depósito de bombeo será de 1.80 metros de largo, 0.80 de ancho y 1.70 metros de alto.

Se considera un nivel de agua de 1.5 m. (4000 litros de volumen), Este volumen se calculó analizando los flujos de producción más críticos como la ducha y el lavado de manos, simulando que las 80 duchas trabajasen al mismo tiempo y los 80 lavamanos también, haciendo una producción de 3000 litros en un tiempo corto de 10 a 20 minutos aproximadamente. Son casos que en la vida real pueden llegarse a dar, al igual que el uso de la lavadora pero en un tiempo más prolongado.

Luego de que el agua gris haya pasado por la criba de desbaste sera bombeado hacia la primera camara de estabilizacion y desengrasado, en la siguiente **Figura N° 19** se muestra el modelo de criba de desbaste a usar:

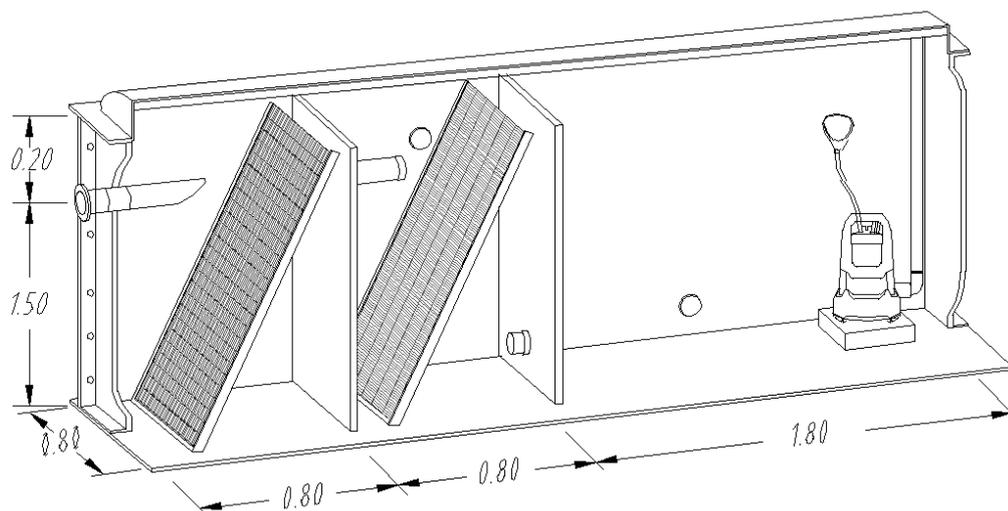


Figura N° 19: Criba de desbaste

Fuente: Elaboración propia

4.4.3.2. Cámara de estabilización y desengrasado:

Es el compartimiento del tanque donde al ingresar el agua se retiene la grasa y asientan gran parte los lodos por medio de la gravedad. La tubería de ingreso estará a 0.5 metros desde el nivel de fondo, y el agua pasara a la siguiente cámara a una altura de la tubería de 1.8 metros. En esta cámara se encontrara con una boya que regulara el funcionamiento de la bomba de entrada, trabajando con el nivel del agua de la cámara de estabilización y el depósito de criba de desbaste.

La planta de tratamiento cuenta con un nivel máximo de llenado de 1.90 metros y un nivel mínimo de 1.6 metros, que serán controladas por las boyas de ingreso y salida. Esta cámara se concentrara la mayor parte de los lodos y grasas, por eso la limpieza será parte fundamental de la cámara.

Los lodos y las grasas pueden ser acumulables de 1 a 3 días máximos, luego su limpieza puede ser manual o con el uso de una bomba de absorción. Los residuos que generen los lodos y las grasas pueden ser usados para la fertilización y/o alimento para los microorganismos biológicos.

Aspectos de diseño:

- a. La dimensión de la cámara será de 2 metros de diámetro, 1.00 metro de largo y el nivel de agua estará a 1.80 m (3 m³ de volumen).

- b. La cámara tendrá instalada la boya de control de niveles y la bomba sumergible conectada a un tablero de distribución con PLC (Programmable Logic Controller), que servirá para automatizar los procesos de tratamiento.

4.4.3.3. Cámara de filtro percolador de flujo ascendente anaeróbico:

Los filtros percoladores son procesos de degradación biológica realizada por bacterias anaeróbicas y al mismo tiempo su diseño hidráulico separa las grasas. El tratamiento de este filtro es pasar el agua gris desde la parte inferior de la cámara, para que el flujo ascienda pasando por los soportes biológicos, que están compuestos de polipropileno de alta densidad, ideal para la proliferación y cultivo del conjunto de bacterias anaeróbicas para degradación rápida de la materia orgánica.

Estos soportes al contacto con el efluente forman un grupo de microorganismos que se adhieren a los vacíos creando las biopelículas de biomasa activa. Estará sujeta por la estructura del reactor y el movimiento del distribuidor es gobernado por la reacción dinámica de la descarga del agua gris en su salida, y se debe considerar un espacio libre entre 150 mm y 225 mm, para permitir la distribución del agua gris que ingresa a la cámara. Su apariencia es de una colmena y sus laminas suelen tener una superficie corrugada para favorecer el crecimiento de la película biológica y para aumentar el tiempo de detención.

El tratamiento de aguas residuales con Filtro Percolador es ante todo un proceso de oxidación bioquímica. Como tal, las principales medidas utilizadas para evaluar la fuerza de las aguas residuales aplicadas y la calidad del efluente del filtro, se basa en sistemas de eliminación de Demanda Bioquímica de Oxígeno Soluble (DBO) a 20°C y Sólidos Suspendidos Totales (SST). Estos parámetros se utilizan en conjunción con el flujo de entrada para calcular la carga orgánica aplicada al filtro y para determinar su eficacia.

Para los diseños de la nitrificación, se debe considerar el Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK) de entrada y salida.

Puede haber considerables variaciones de volumen y de la calidad de las aguas residuales que recibe una planta de tratamiento. Sin embargo, una ventaja del proceso de filtro percolador es su capacidad para manejar condiciones máximas sin problemas graves. Uno de los beneficios citados con frecuencia es su capacidad para suavizar la carga de DBO antes del proceso de lodos activados. Se muestra los soportes biológicos para el tratamiento en la siguiente **Figura N° 20:**



Figura N° 20: Soportes de polipropileno para filtro percolador

Fuente: GEXCOM - GEOFUTURE, (s.f.)

Este relleno debe permitir un buen contacto entre el agua a tratar y circulante con la biopelícula fijada sobre el mismo y, al mismo tiempo, la evacuación de los lodos que se va desprendiendo del soporte para evitar la colmatación del filtro.

Las principales características de los materiales de relleno empleados en los filtros percoladores son:

- **Superficie específica (m²/m³):** mide el área expuesta del material de relleno por unidad de volumen. A mayor superficie específica, mayor capacidad para la fijación de la película bacteriana y, por tanto, mayor capacidad de tratamiento del filtro percolador. Esta superficie debe ser superior a 40 m²/m³ (WEF, 1992).
- **Índice de huecos (%):** fracción vacía del relleno en relación con el volumen total del mismo. A mayor índice de huecos, menos riesgo de colmatación del material de relleno. Cuanto mayor es la carga orgánica aplicada al filtro percolador, mayores deben ser las dimensiones de los huecos o intersticios, dado que la biopelícula que se forma, bajo estas condiciones, presenta un mayor espesor. Este índice debe ser siempre superior al 50% y el tamaño de los huecos, o intersticios, nunca debe ser inferior a 1-1,5 cm.
- **Uniformidad:** la homogeneidad del relleno facilita la circulación del agua y del aire a través del relleno y atenúa su colmatación.
- **Densidad (kg/m³):** cuanto menor sea, permitirá mayores alturas del material de relleno y, por tanto, menos necesidades de espacio.
- **Resistencia mecánica y durabilidad:** el material de relleno debe soportar su transporte y colocación en el filtro percolador sin deteriorarse. Las capas

inferiores del relleno, en el interior del filtro percolador, deben soportar todo el peso del apoyo de los soportes, sin sufrir grandes deformaciones, que podrían originar problemas de atascos.

- **Inercia química:** el material debe ser inerte frente a los componentes de las aguas residuales a tratar, para evitar su degradación.

El material de relleno ideal, es el que presenta una elevada superficie específica, con un alto índice de huecos y con un coste reducido.

La temperatura de las aguas grises puede influir en la eficiencia de los sistemas de tratamiento biológicos. La temperatura afecta las tasas biológicas de reacción, las tasas de transporte de sustrato y la eficiencia de la separación sólido líquido.

Los efectos de la temperatura sobre el rendimiento del filtro percolador deben separarse de los efectos biológicos y no biológicos. La respuesta biológica a los cambios de temperatura sólo se puede evaluar utilizando los datos del afluente y efluente ya sea de la DBO o DQO soluble.

Los efectos físicos de la temperatura se miden en términos de la relativa facilidad de separar del efluente los sólidos suspendidos totales. Las características pobres de sedimentabilidad de los sólidos, incrementa la DBO de salida, debido a que no quedan retenidos en el sedimentador.

Sin embargo, hay una gran discrepancia en la literatura de la industria con respecto a los efectos de la temperatura sobre el rendimiento del filtro percolador. Hay pruebas en que gran parte del efecto de la temperatura es el resultado de un diseño inadecuado en la ventilación de alimentación y del control de la biomasa, así como de una pobre clarificación en época fría y/o húmeda.

Aspectos de diseño:

- a. La dimensión de la cámara será 2 metros de diámetro, 0.80 metros de largo y 1.80 metros de nivel de agua (2.51 m^3).
- b. Los filtros son de dos etapas, por haber pasado anteriormente por una cámara de estabilización y desengrasado reduciendo la DBO carbonosa, ahora en esta segunda etapa se produce la nitrificación (conversión de nitrógeno amoniacal en nitrato).
- c. Este proceso tiene una excelente nitrificación y eficiencia de eliminación de la DBO de 85% a 95% (Metcalf & Eddy, 1995).

- d. Unas de las principales ventajas es el bajo THR y una desventaja es el costo elevado de los soportes de relleno.
- e. En las propiedades físicas de los soportes o medios filtrantes nos basaremos a la siguiente tabla:

Tabla N° 20: Propiedades físicas de los medios filtrantes de los filtros percoladores

Propiedades físicas de los medios filtrantes de los filtros percoladores				
Medio	Tamaño nominal, mm	Masa por unidad de volumen, kg/m³	Superficie específica, m²/m³	Porcentaje de huecos, %
Gravas de río				
Pequeñas	25-62,5	1.250-1.440	55-69	40-50
Grandes	100-125	800-990	39-164	50-60
Escorias de altos hornos				
Pequeñas	50-75	900-1.200	55-69	40-50
Grandes	75-125	800-990	46-59	50-60
Plástico				
Convencional	600x600x1.200 ^b	32-96	79-98	94-97
Alta superficie específica	600x600x1.200 ^b	32-96	98-196	94-97
Madera de Secuoya	1.200x1.200x500 ^b	144-176	39-49	70-80
Relleno desordenado	25-87,5	48-96	125-279	90-95

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

De la **Tabla N° 20**, se recomienda como concepto la alta superficie específica a una masa por unidad de volumen de 32 a 96 kg/m³, la superficie específica de 98 a 196 m²/m³ y un porcentaje de vacíos de 94 a 97 %.

- f. El material de los soportes será de polipropileno negro de alta densidad.
- g. Para hallar la cantidad de soportes a utilizar esta entre el 75 a 80% del volumen de la cámara, quiere decir que para 2.51 m³ que tenemos en el reactor necesitaremos una cantidad de 2 metros cúbicos de soportes, se recomienda que tengan un área de 120 m²/m³, un peso de 45 kg/m³ a más y un porcentaje de vacíos de 96%.
- h. El modulo plástico que se recomienda es de flujo cruzado a 60 grados. En general este proporciona mejor tratamiento por unidad de volumen, por la

uniformidad de la distribución, permitiendo mayor tiempo de retención y promoviendo una mejor transferencia de oxígeno debida a la creación de flujo turbulento.

- i. La ventilación en la cámara es un factor muy importante en el proceso biológico.

4.4.3.4. Cámara aerobia de lodos activados con lecho fluidizado (MBBR).

La limitación de espacios para instalar plantas de tratamiento de aguas residuales, obliga a desarrollar nuevas tecnologías para incrementar la capacidad de los sistemas depuradores por unidad de área construida tanto de nuevos sistemas como para aumentar la eficiencia de las plantas ya existentes. (Camargo, 2011).

En la tecnología de reactores de biomasa adherida en un lecho móvil (moving bed biofilm reactor, MBBR, por sus siglas en inglés), la biomasa crece protegida dentro de soportes plásticos específicos, los cuales han sido cuidadosamente diseñados con una alta área superficial interna. Estos soportes son suspendidos y mezclados en la fase líquida.

El empaque plástico es el material más frecuentemente usado para el soporte de la biopelícula. Las propiedades más importantes son el área del lecho, la densidad, la rugosidad y porosidad, el porcentaje de espacios vacíos, la durabilidad, y su influencia en la efectividad del proceso. Grandes superficies permiten más biomasa por unidad de volumen; mientras que más espacios vacíos permiten más transferencia de oxígeno y reducen los problemas por taponamiento en los lechos fijos (Wuertz et al., 2003).

Hoy en día, los materiales plásticos más usados como soporte de las biomasas en los MBBR son: polietileno (PE), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC) moldeado, fibras de poliéster o tiras de películas de PVC.

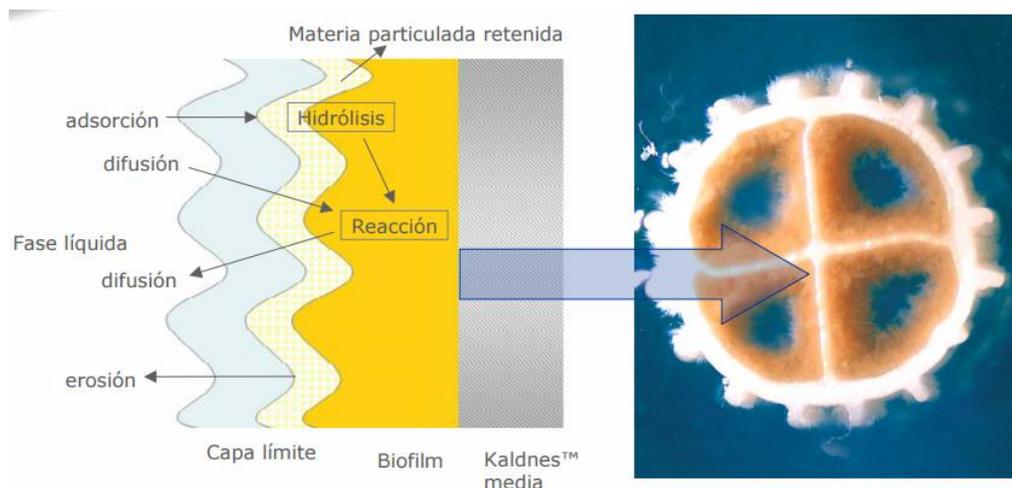


Figura N° 21: Formación de biopelícula

Fuente: Anoxkaldnes, (2017)

Principales consideraciones para el diseño:

Las propiedades del soporte que son de principal interés son: durabilidad, densidad de área específica (relación de la geometría de la superficie del área en relación al volumen) y el porcentaje de espacio vacíos.

Para la remoción de nitrógeno en los reactores MBBR, dependiendo del grado de pre-tratamiento, se recomienda un tiempo de retención hidráulica de 3 a 5 h (McGettigan et al., 2009). Cuando sólo es requerida la eliminación de materia orgánica el tiempo de retención hidráulica es de 90 minutos con un mínimo de 60 minutos. Durante la operación los soportes son mantenidos en constante circulación. En el reactor aerobio la circulación es inducida por la acción de las burbujas que son inyectadas al tanque por unos sistemas de difusores de burbuja gruesa.

Los soportes pueden ocupar desde un 30% de llenado (McGettigan et al., 2009) hasta un 67 % (Hem et al., 1994) del volumen total. La experiencia demuestra que la eficiencia en el mezclado decrece a porcentajes mayores del 70% de llenado. (Ødegaard et al., 1994).

Debido a que los MBBR son procesos principalmente de biomasa fija, la capacidad del tratamiento está en función del área superficial del soporte en el reactor. Esta área es calculada mediante el cociente de la superficie total del soporte disponible para el establecimiento de la biopelícula en el reactor y el volumen del líquido en el reactor.

Aspectos de diseño:

- Existen varios modelos y áreas específicas de los soportes para el crecimiento de la biopelícula en el proceso MBBR.
- La cámara tendrá, 1.2 metros de largo, 2 metros de diámetro y 1.8 metros de nivel de agua (3.5 m³ de volumen).
- Los soportes ocuparan el 50% del volumen de la cámara
- Se utilizara el área superficial del soporte AnoxKaldens K3 de 500 m²/m³, tal como se muestra en la **Figura N° 22**, para un volumen de 1.75 m³.
- Un porcentaje de vacíos de 97%, 12.5 mm de diámetro, hecho de polietileno de alta densidad 0.95 kg/m³.

En el mercado internacional existen varios proveedores de estos soportes, sobre todo Anoxkaldnes la marca fundadora de la tecnología MBBR en Noruega, en la siguiente **Tabla N° 21** se muestra algunos de los soportes más importantes:

Tabla N° 21: Soportes plásticos comunes utilizados en los MBBR

Fabricante	Nombre	Área total superficial específica (m ² /m ³)	Dimensiones del empaque Profundidad, diámetro (mm)
Veolia, Inlc	AnoxKaldnes K1	500	7, 9
	Anox Kaldnes K3	500	12, 25
	AnoxKaldnes "Chip biopelícula" (M)	1200	2, 48
	AnoxKaldnes "Chip biopelícula"(P)	900	2, 48
Infilco, Degremont	Active Cell 450	450	15,22
	Active Cell 515	515	15, 22
Siemens Water Technologies Corp	ABC4	600	14, 14
	ABC5	600	12, 12
Entex Technologies	Bioportz	589	14,18

Fuente: Anoxkaldnes, (2017)

El área efectiva neta de la biopelícula es un parámetro clave de diseño MBBR, y los porcentajes de carga y reacción pueden expresarse como función del área superficial que ofrecen los soportes. Por lo tanto, el área superficial del soporte se usa de forma común y convenientemente para expresar el rendimiento y las cargas de los MBBR.



Figura N° 22: Soporte de polietileno TIPO K3 500m²/m³

Fuente: Anoxkaldnes, (2017)

Características del aireador:

En los MBBR la aireación se usa, además de suplir el oxígeno necesario para remover el exceso de lodo de los medios de soporte mediante fuerzas cortantes del aire turbulento y para aumentar la transferencia de masa. Algunas compañías que fabrican los MBBR (AnoxKaldnes, 2010) utilizan un diseño con burbuja gruesa, mediante el uso de tuberías de acero inoxidable con perforaciones de 4 mm de diámetro. El diseño es simple pero robusto, la red de aireación se logra con materiales resistentes que permitan tolerar las condiciones adversas en el reactor, estando este en servicio o cuando está fuera de servicio y haya sido drenado soportando todo el peso del empaque que se acumula en fondo del tanque.

Para este diseño se propone utilizar las rejillas difusoras de aire fabricada de Polietileno de alta densidad mediante el proceso de moldeo por inyección, con 20 metros de manguera difusora, abrazaderas de acero inoxidable. Conectado a un blower aireador de un 1 HP. De la marca AERO-TUBE (Medidas: ancho x 120 cms de largo 100 cms de ancho), tal como se muestra en la siguiente **Figura N° 23:**



Figura N° 23: Rejillas difusoras de aire para el tratamiento con MBBR

Fuente: AERO-TUBE, (2014)

No importa si un sistema o dispositivo de aireación salpica, rocía o inyecta aire, lo que importa es cuánta superficie de transferencia crea. La superficie de transferencia es donde el agua entra en contacto con el aire y donde tiene lugar la transferencia de oxígeno. Burbujas más pequeñas significan una mayor superficie de transferencia; es por eso que los mecanismos de transferencia de oxígeno que producen burbujas más pequeñas son superiores a los de burbujas de mayor tamaño. Para maximizar la eficiencia de un sistema, el aireador debe crear burbujas pequeñas con el menor consumo de energía. Esta tecnología logra ambos objetivos, con un sistema de larga vida útil y bajo requerimiento de mantenimiento. AERO-TUBE, (2014).

Aspectos de diseño:

- a. Se necesitara un controlador de niveles para regular el blower aireador conectado al tablero de distribución PLC.
- b. El proceso MBBR no requiere un mantenimiento rigoroso, de sencilla operación y mantenimiento, que no requiere personal cualificado y la energía para realizar la aireación se puede optar por energías renovables.
- c. Este diseño de la red de aireación tiene el objetivo de eliminar la necesidad de revisión periódica o el remplazo periódico de los elementos de los difusores.

En la **Figura N°24**, se muestra un esquema del proceso MBBR:

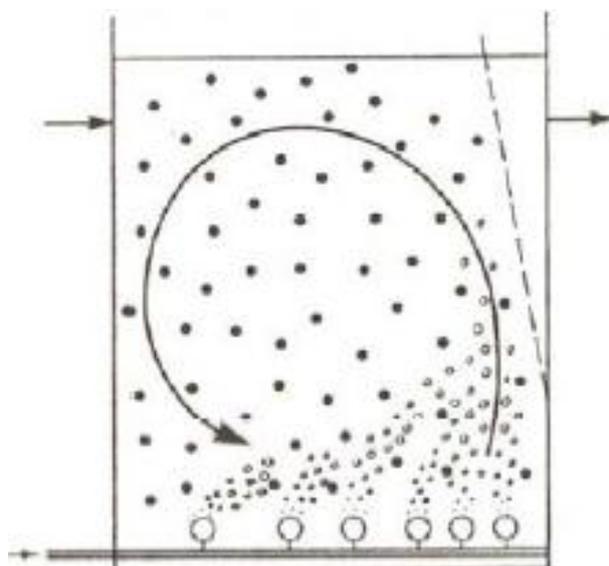


Figura N° 24: Proceso aerobio con MBBR

Fuente: H. Odegaard, (1999)

Después de unos días la biomasa se empieza adherir a los soportes dando un esquema igual al que se muestra en la **Figura N° 25**:



Three days to a week
in biofilm carrier

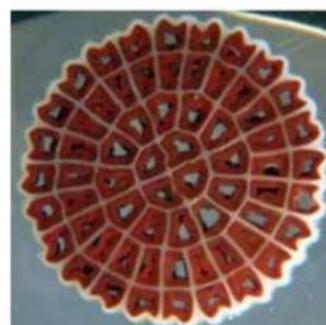
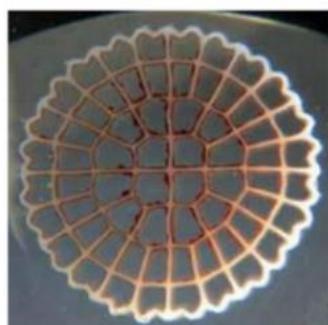
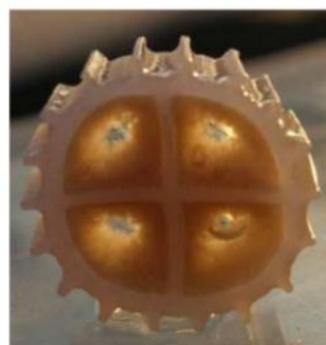
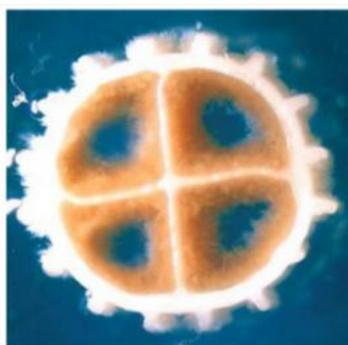


Figura N° 25: Después de 3 días a una semana en el soporte de la biopelícula

Fuente: PINXIANG NANXIANG, (2015).

4.4.3.5. Cámara de decantación secundaria:

Este proceso de decantación secundaria tiene como objetivo impedir el paso de sólidos en suspensión más pequeños, que no hayan sido retenidos en los procesos previos, para esto se necesitara de un sistema lamelar tipo colmena (60° de inclinación con respecto a la vertical), fabricado en PVC para sedimentación acelerada de los lodos de mayor densidad y flóculos de menor tamaño.

Su función es separar el lodo activado de las aguas residuales depuradas biológicamente. Este módulo permite una rápida precipitación de los sólidos suspendidos y decantables de mayor densidad que el agua.

En la siguiente **Figura N° 26**, se muestra el Decantador secundario lamelar o panel lamelar:

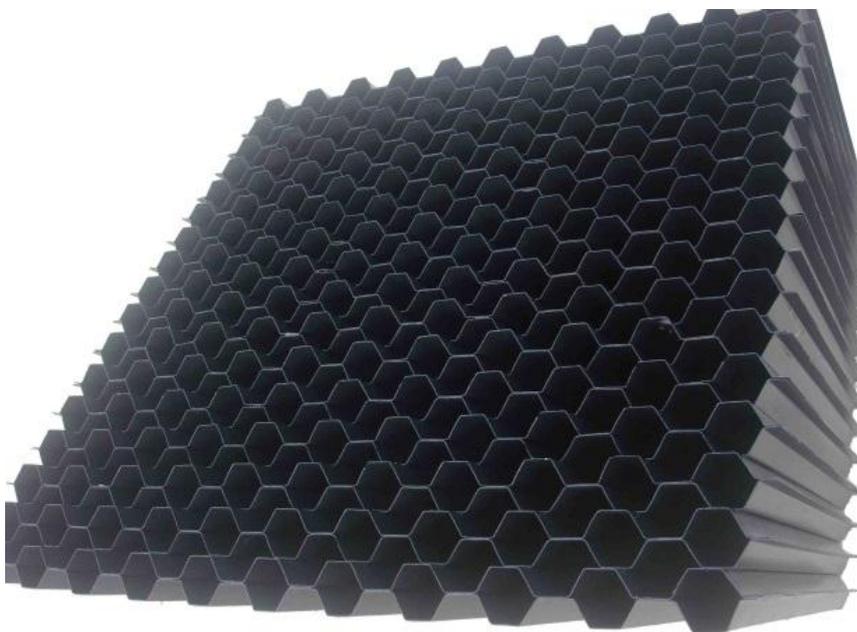


Figura N° 26: Panel Lamelar

Fuente: Tecno Converting Engineering, (s.f.).

Aspectos de diseño:

- **Superficie de contacto**

Gracias al diseño en forma de hexágono regular y en posición inclinada a 60° o a 80°, las lamelas disponen de una amplia superficie para la circulación del agua a tratar, su diseño es flexible, modular y sofisticado pudiendo adaptarse a cualquier tipo de decantador.

- **Rigidez**

Las lamelas están formadas por perfiles en PP o PVC soldados. El número de puntos de soldadura es mayor para soportar el peso del fango dentro de las lamelas y garantizar, así, la total estabilidad y seguridad de la instalación.

- **Soportes**

Uno de los requisitos indispensables en cada PTAR con esta tecnología es el cálculo de los soportes de las lamelas para garantizar la total seguridad de la planta incluso en episodios de alta acumulación de lodos en el lamelar.

Los propósitos fundamentales del panel lamelar son de aumentar la superficie de decantación y obtener un flujo laminar. La idea de utilizar un decantador lamelar se basa en el hecho de que la carga superficial ($m^3/m^2/día$) de un decantador en caída libre no depende de su altura. Con esta idea es posible ampliar la capacidad de un decantador dividiendo su altura en “n” decantadores, o bien utilizando placas con cierta inclinación.

Criterios de diseño:

El caudal de entrada es canalizado a través de una tubería hasta la cámara de decantación comprende un área de 0.6 m de largo y 2 m de diámetro, dónde se encuentra la distribución del panel lamelar que permite aumentar la superficie efectiva de decantación. Con el paso del fluido entre las lamelas se produce la separación de los sólidos en suspensión que resbalan por la pendiente de las lamelas hacia el fondo del decantador mientras que el agua limpia sigue una trayectoria ascendente hacia la superficie del decantador.

El panel lamelar permite que la distancia que una partícula tiene que recorrer hasta que decanta, sea menor que en un decantador convencional aumentando la capacidad de clarificación. El agua limpia ya clarificada en la parte superior del decantador lamelar cae a la siguiente cámara de estabilización y bombeo situado al final de la planta de tratamiento y de éste al filtro vertical, de donde se evacua mediante tubería pasando antes por procesos de cloración y floculación.

El problema principal en un panel lamelar es la obturación de las lamelas. En las paredes de éstas puede producirse la adherencia de algas, lodos, etc., puesto a que son muy comunes, a veces debido a varios motivos:

- a. Altas concentraciones de sólidos en suspensión.
- b. Reactivos químicos como floculantes, coagulantes, etc.

- c. Vertidos incontrolados (hidrocarburos, grasas).
- d. No haber definido correctamente el tamaño del lamelar en función del tipo de agua a tratar.
- e. Canales preferenciales en los lamelares.
- f. Mal dimensionamiento del decantador.
- g. Incorrecto mantenimiento del lamelar.

Una forma de mejorar el rendimiento de un panel lamelar y permitir una mayor longevidad de la instalación es realizar un procedimiento de limpieza durante las paradas técnicas.

Con el decantador lleno de agua, se empieza a tratar la superficie del lamelar con agua a presión, se deben ir lavando los módulos de forma continuada por lo que se recomienda usar más de 1 operario para la actuación.

A medida se va tratando toda la superficie del lamelar con el agua a presión, se debe bajar lentamente el nivel de agua en el sedimentador, sobre todo mientras ese descenso incide en la longitud/altura de los módulos, incluso proceder al cierre de válvulas (por cortos espacios de tiempo) para poder asegurar la homogeneidad del lavado, diluyendo la materia orgánica depositada/adherida en las paredes de los tubos, evitando que las misma se reseque y pueda reducir capacidad de deslizamiento de las partículas, minimizando de esta forma la efectividad del proceso e inclusive la vida útil de las lamelas.

A medida se vaya vaciando el panel lamelar y siempre manteniendo el agua a presión desde la superficie, es muy importante tener el rascador o el sistema de extracción de lodos en marcha, ya que la cantidad de lodos recogida tiende a ser elevada. Teniendo en cuenta que una correcta recogida del lodo asegura un mayor rendimiento de las lamelas.

Una vez vaciado el decantador se puede proceder a la inspección interna de los equipos, para acceder al interior del decantador se procede a retirar uno de los paquetes lamelares para permitir la colocación de una escalera o un elemento apropiado para permitir el descenso.

El panel recomendado tiene las siguientes características mostradas en la **Tabla N° 22:**

Tabla N° 22: Características del panel lamelar

Tipo de lamelar	TecnoTec H-60	
	PVC	PP
Material	PVC	PP
Geometría	Hexagonal	Hexagonal
Máxima temperatura de utilización	55°C	80°C
Peso por m3 de lamela	70kg	50kg
Inclinación	60° - 55°	60° - 55°
Diámetro hidráulico	60 mm	60 mm
Superficie específica/proyectada a 60°	12,25 m2/m3	12,25 m2/m3
Superficie específica/proyectada a 55°	13,27 m2/m3	13,27 m2/m3
Distancia entre paredes	62 mm ± 1 mm	62 mm ± 1 mm
Altura estándar de los módulos	1.000 mm	1.000 mm

Fuente: Tecno Converting Engineering, (s.f.).

La empresa Tecno Converting de España dio un aporte técnico a este trabajo en los beneficios que da el decantador secundario y los mantenimientos que necesita. Se pudo realizar una cotización dando los parámetros de diseño que requiere la planta de tratamiento colocado dentro del presupuesto total.

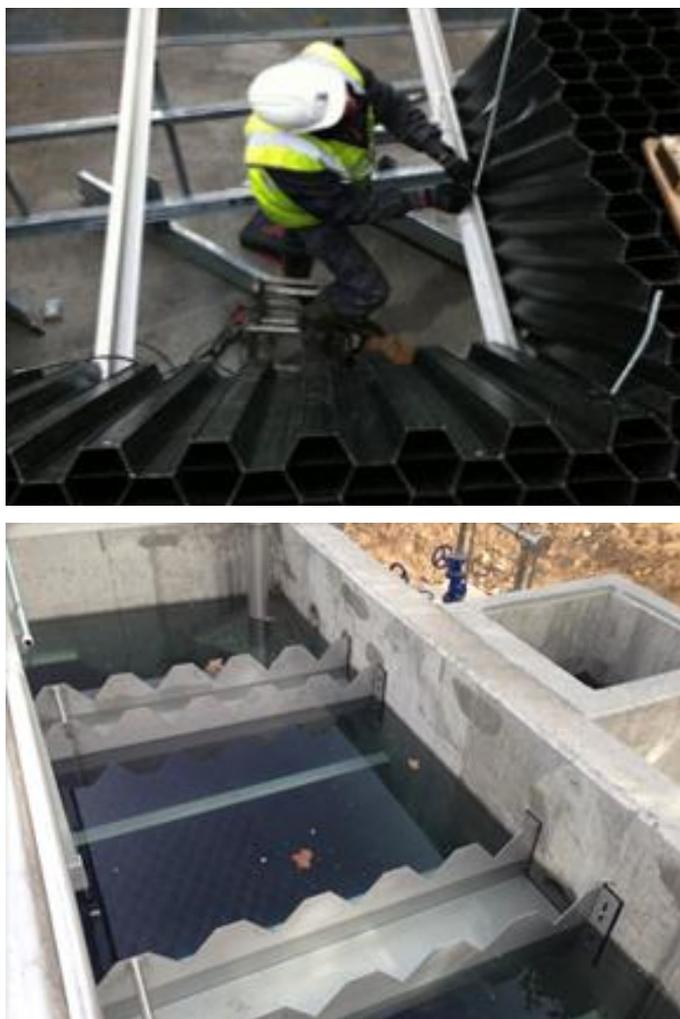


Figura N° 27: Instalación de los paneles lamelares

Fuente: Tecno Converting Engineering, (s.f.).

4.4.3.6. Cámara de bombeo y estabilización

Este compartimiento se encarga de recolectar el agua clarificada procedente del proceso de sedimentación secundaria para colocarla a disposición final por bombeo hacia el filtro vertical. La bomba será sumergida y controlada por una boya.

4.4.3.7. Proceso de Floculación y Cloración:

En el recorrido hacia el filtro vertical se le suministra al agua, cloro y floculante, el primero para asegurar la durabilidad y calidad del agua, y el segundo para aglutinar los sólidos en suspensión más pequeños y puedan ser retenidos en la siguiente parte del proceso.

Este proceso se controlara por dosificadores automáticos para una aplicación constante y uniforme, ya que mantener una concentración constante de cloro y floculante puede ser un reto si el gasto descargado de agua residual es variable. Un sistema de clorado y floculación controlada por bucle de retroalimentación con el medidor de flujo es ideal: si las variaciones instantáneas de gasto pueden ser grandes, se puede considera añadir un tanque de ecualización a la salida del tratamiento secundario.

a) Floculación

Objetivo de la floculación:

Ésta etapa de la mezcla, corresponde a una mezcla lenta que tiene por objeto permitir los contactos entre los flóculos, la turbiedad y el color, la mezcla debe ser lo suficiente para crear diferencias de velocidad del agua dentro de la unidad pero no muy grande, ya que los flóculos corren el riesgo de romperse; aún si el tiempo es no más del tiempo óptimo de floculación.

Aspectos de diseño:

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad.

Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar.



Figura N° 28: Proceso de floculación

Fuente: Trébol Química S.L, (s.f.).

Sucedan que los flóculos formados por la aglomeración de varios coloides no sean lo que suficientemente grande como para sedimentar con rapidez deseada, por lo que el empleo de un floculante es necesario para reunir en forma de red, formando puentes de una superficie a otra enlazando las partículas individuales en aglomerados.

La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del flóculo, sino que también aumenta su peso.

La floculación puede ser mejorada por la adición de un reactivo de floculación o ayudante de floculación.

b) Clarificación

El cloro en sus múltiples formas ha sido usado durante mucho tiempo con propósitos de sanitización del agua, al punto que en la percepción común de la gente es sinónimo de inocuidad bacteriana o incluso de agua potable. El otro

ámbito en el que se usa, con fines similares pero circunstancias muy diferentes: el tratamiento terciario del agua residual.

El cloro en sí es un gas de tono amarillento y sumamente irritante para las mucosas, al grado que la exposición directa a este por unos minutos puede ser letal. Aplicar el gas cloro directamente al agua puede ser económico por el costo del insumo, pero por los riesgos de manipulación requiere equipo de seguridad y procedimientos sofisticados que sólo lo hacen práctico a gran escala.

Si se bombea gas cloro en el agua y permanece en contacto con ella, se generarán el ion hipoclorito y el ácido hipocloroso, ambos capaces de oxidar y corroer la materia orgánica y los microorganismos. El ácido hipocloroso tiene mayor poder desinfectante que el ion hipoclorito por lo que elimina patógenos más variado y en menos tiempo. La proporción de ácido hipocloroso e hipoclorito que existe en el agua depende del pH. A pH de 7,5 los dos coexisten en proporción similar: a pH menor predomina el ácido hipocloroso y a pH mayor, el ion hipoclorito.

Aspectos de diseño:

Una solución de cloro puede matar una población entera de *Escherichia coli* en poco más de un minuto, lo que es posible en agua cristalina. Sin embargo en agua residual, la desinfección es más complicada y el cloro necesita más tiempo para reaccionar. Algunos factores que influyen en ello son:

El agua residual doméstica contiene materia orgánica en buena cantidad que también es susceptible de oxidarse. El cloro no discrimina entre bacterias y materia orgánica corriente, así que reaccionará y se consumirá con ambos: si la materia orgánica abunda, el cloro se desperdiciará reaccionando con ella y una cantidad significativa de bacterias sobrevivirá para hacer sentir su presencia en el resultado de coliformes fecales.

- Los sólidos suspendidos representan una barrera física: si los microorganismos están resguardados en el interior de las partículas suspendidas, el cloro tardará en penetrar a través de las ellas para poder matar a los patógenos, y eso si es que persiste en el agua por el tiempo suficiente.
- La radiación ultravioleta de la luz solar cataliza la conversión de las formas activas de cloro en ion cloruro, por lo que una parte del cloro se consume sin reaccionar.

- Una parte del cloro añadido al agua termina por difundirse a la atmósfera como cloro gaseoso por lo que se pierde sin reaccionar.

Criterios de diseño:

El tiempo de contacto entre el cloro el agua gris es fundamental para destrucción de todos los microorganismos patógenos, están en función al pH y la temperatura del agua. Cuanto mayor el tiempo de contacto, más efectiva su acción y la dosis de cloro puede ser menor.

Para el cálculo de tiempo de contacto se representa con el valor de Ct expresa como mg.min/l, que indica la concentración por tiempo. Y está representada en la **Tabla N° 23** de valores dadas por EPA (Agencia de protección ambiental) a continuación:

Tabla N° 23: Valores para Ct en la incentivación de quistes de Giardia con cloro libre para 15 y 20°C:

Cloro libre mg/l	pH						
	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0
0.4	46-34	57-43	70-53	85-64	101-76	120-90	140-105
0.6	49-37	61-46	75-56	91-68	109-82	128-96	150-113
0.8	52-39	65-48	79-59	96-72	114-86	135-101	158-119
1.0	54-40	67-50	82-62	100-75	119-89	140-105	164-123
1.2	56-42	69-52	85-64	103-77	123-92	145-109	170-127
1.4	57-43	71-53	87-66	106-79	126-95	149-112	174-131
1.6	59-44	73-55	89-67	108-81	129-97	153-114	179-134
1.8	60-45	74-56	91-68	110-83	132-99	156-117	182-137
2.0	61-46	76-57	93-70	112-84	134-101	159-119	186-139
2.2	62-46	77-58	95-71	114-86	137-102	161-121	189-142
2.4	63-47	78-59	96-72	116-87	139-104	164-123	192-144
2.6	64-48	79-60	97-73	118-88	141-106	166-125	194-146
2.8	65-48	80-60	99-74	119-90	142-107	168-126	197-148
3.0	65-49	81-61	100-75	121-91	144-108	170-128	199-150

Fuente: Arboleda J. (1992).

Un ejemplo para este diseño es si tenemos una temperatura del agua de 20°C, dosis a emplear de 1.0 mg/l el Ct debería de ser 75 mg.min/l si el pH es 7.5 y que por tanto el tiempo de contacto debe de ser de $75\text{mg}\cdot\text{min}/1.0\text{mg}/\text{l} = 75\text{ min}$.

El pH es un factor de mucha importancia en la cloración de las aguas, la desinfección es más eficiente a un pH bajo, en la práctica entre 6-7. El cloro gaseoso disuelto en agua reacciona en forma compleja para formar ácido hipocloroso (HOCl), y este, a su vez, se disocia formando cationes de hidrógeno

(H+) y aniones de hipoclorito (OCI-). Ambos compuestos son desinfectantes, pero el HOCl es mucho más eficiente que el OCI-, el que, en determinadas condiciones, tiene apenas el 2% de la capacidad bactericida del HOCl.

En la siguiente **Figura N° 29** se presenta la curva de disociación del ácido hipocloroso y el ion hipoclorito:

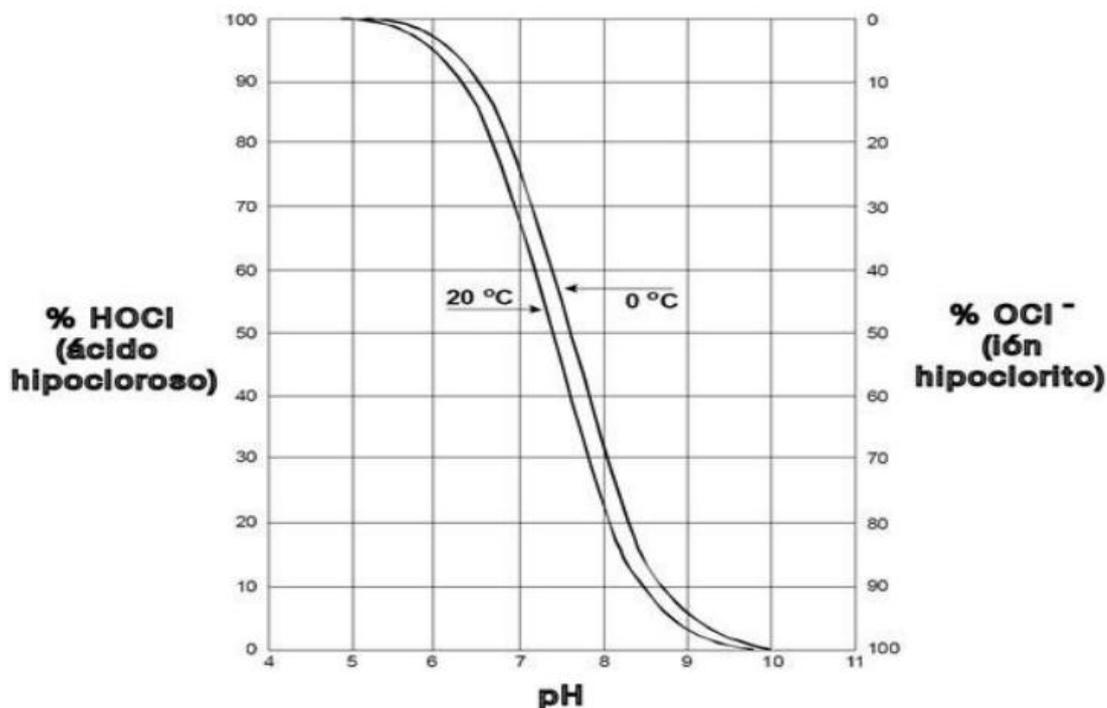


Figura N° 29: Curva de disociación del ácido hipocloroso y el ion hipoclorito en función al pH

Fuente: Arboleda J. (1992).

La dosis de cloro residual aceptable para el consumo humano está entre 0.3 y 2.0 mg/l. La bomba dosificadora para la dosis de solución clorada a inyectar se calcula mediante la fórmula siguiente:

Ecuación 3:

$$D = (CxQ)/S$$

Dónde:

D = (l de solución / h): caudal de la bomba dosificadora

C = (mg de cloro/litro de agua o g de cloro/m³ de agua): dosis de cloro a inyectar

$Q = (\text{m}^3/\text{h})$: caudal de agua a tratar

$S = (\text{g de cloro/litro de solución})$: concentración de la solución expulsada por la bomba dosificadora.

En la siguiente **Figura N° 30**, se muestra la bomba dosificadora de cloro y sus componentes:

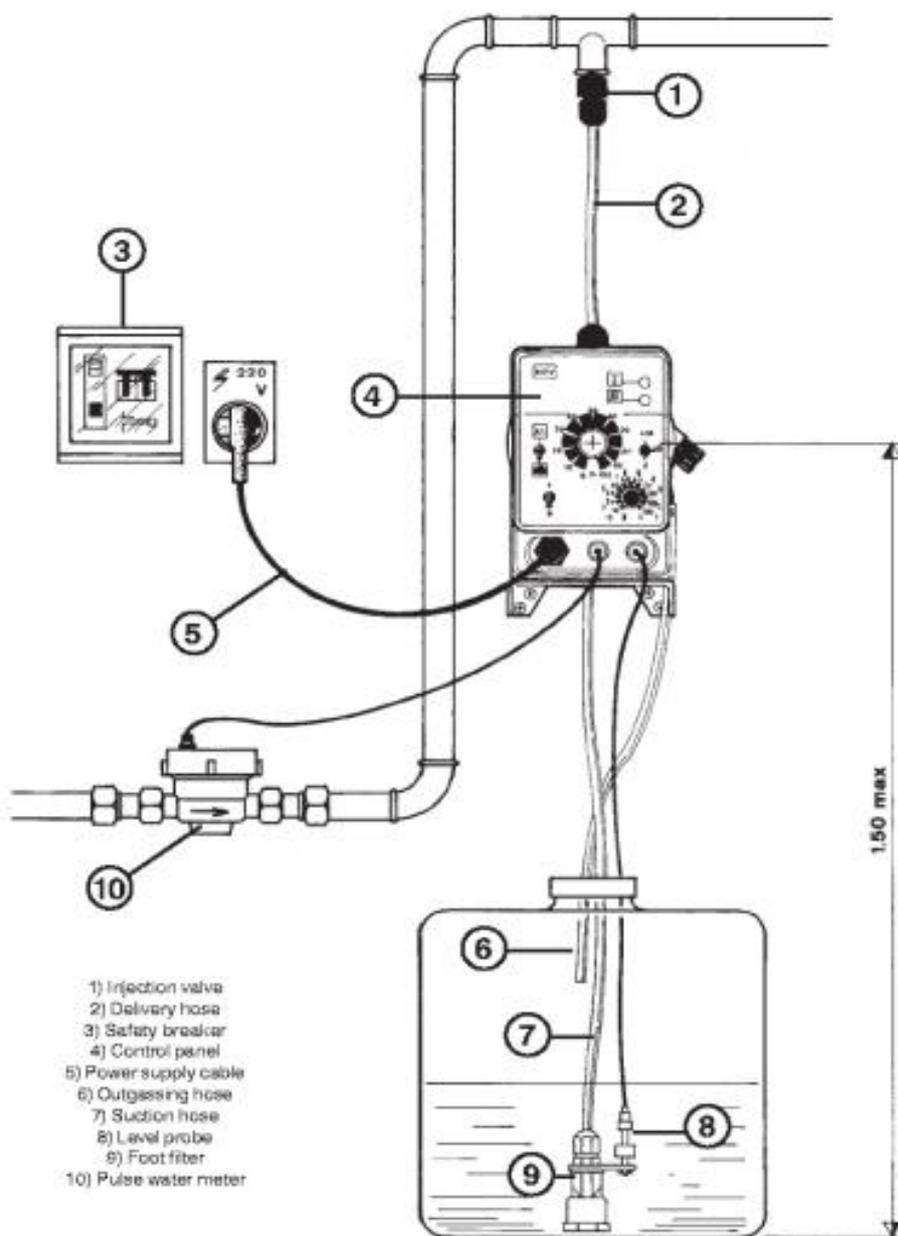


Figura N° 30: Bomba dosificadora de cloro

Fuente: Arboleda J. (1992).

4.4.3.8. Filtro vertical

El flujo llega a la etapa final pasando por tres capas de: Arena, Antracita y Grava. Donde son retenidos los sólidos en suspensión obtenidos después de la floculación del agua.

Aspectos de diseño:

Este filtro vertical fue diseñado guiándose de los parámetros que hay en el RNE y estudios realizados con fundamentos teóricos y prácticos.

Los lechos filtrantes de doble o triple capa, así como los de capa única profundos, se desarrollaron para permitir que los sólidos en suspensión presentes en el líquido a filtrar puedan penetrar a mayor profundidad dentro del lecho filtrante, con lo cual se aprovecha más la capacidad de almacenamiento de sólidos dentro del filtro. En cambio, en filtros de una capa única profundos, se ha podido comprobar que gran parte de la eliminación de sólidos en suspensión se produce en los primeros milímetros de la capa filtrante. El hecho de que los sólidos penetren a mayor profundidad, también permite ciclos de filtración más largos, puesto que reduce el ritmo de aumento de las pérdidas de carga producidas. Metcalf & Eddy, (1995).

Criterios de diseño:

- **Presión actuante en la filtración:**

Tanto la fuerza de gravedad, como la creada por una presión aplicada, se pueden emplear para vencer la resistencia por fricción creada por el flujo que circula a través del lecho filtrante.

- **Características del agua a filtrar:**

Las características más importantes del agua a filtrar son la concentración de sólidos en suspensión, el tamaño y la distribución de los tamaños de las partículas, y la consistencia de los flóculos.

El tamaño del grano afecta tanto a la pérdida de carga en la circulación del agua a través del filtro como a la tasa de variación de dicho aumento durante el ciclo de filtración. Si el tamaño de grano efectivo del medio filtrante es demasiado pequeño, la mayor parte de la fuerza actuante se emplea para vencer la resistencia de fricción provocada por el lecho filtrante, mientras que si el tamaño efectivo es demasiado grande, muchas partículas de menor tamaño presentes en el

agua a filtrar pasaran directamente a través del filtro sin ser eliminadas. (Metcalf & Eddy, 1995).

- **Velocidad de filtración:**

La velocidad de filtración es un parámetro importante por cuanto afecta a la superficie necesaria del filtro. Para una aplicación dada del filtro, la velocidad de filtración dependerá de la consistencia de los flóculos y el tamaño medio del grano del lecho filtrante. Por ejemplo, si los flóculos son de débil consistencia, las velocidades de filtración elevadas tenderán a romper los flóculos y a arrastrar gran parte del mismo a través del filtro. (Metcalf & Eddy, 1995).

Principales variables que intervienen en el diseño del filtro vertical:

- Características del medio filtrante
- Porosidad del lecho filtrante
- Profundidad del lecho filtrante
- Velocidad de filtración
- Perdida de carga admisible
- Características del agua residual a tratar

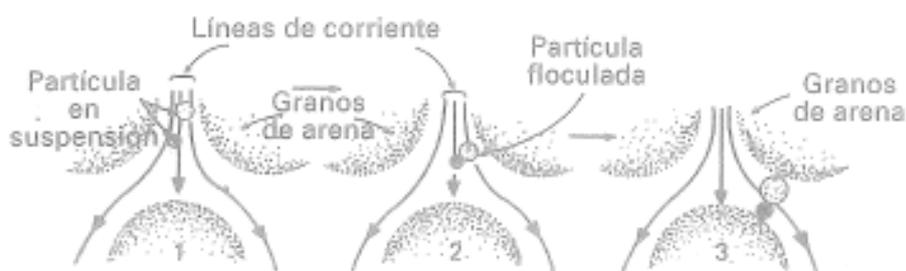


Figura N° 31: Eliminación de la materia en suspensión en el filtro vertical

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

El filtro debe proyectarse para trabajar dentro de un amplio abanico de condiciones de funcionamiento, según Metcalf & Eddy, (1995). El caudal del agua gris es variable, por lo que para un mejor funcionamiento del filtro vertical antes de la puesta en marcha, se hace previas pruebas para la configuración del filtro, y así, asegurar la adecuación del lecho filtrante.

Criterios de diseño:

La arena debe cumplir con las siguientes especificaciones según RNE:

- El material laminar o micáceo debe ser menor de 1%.
- Las pérdidas por ignición deben ser menores de 0.7%.
- La arena debe ser material silíceo de granos duros (7 en la escala de Moh), libre de arcilla, limo, polvo o materia orgánica.
- La solubilidad en HCl al 40% durante 24 horas debe ser <5%.
- El peso específico debe ser mayor de 2.6.
- El espesor y características granulométricas del medio filtrante deberán ser determinados mediante ensayos en filtros piloto. Los valores se encuentran entre los siguientes límites: espesor 0.60 a 0.75 m, tamaño efectivo entre 0.5 a 0.6 mm, tamaño mínimo 0.42 mm y máximo 1.17 a 1.41 mm. El coeficiente de uniformidad en todos los casos debe ser menor o igual a 1.5.
- Cuando el filtro funcione parcial o permanentemente con filtración directa, la granulometría del material deberá ser más gruesa. El tamaño efectivo del material podrá ser de 0.7 mm, el tamaño mínimo de 0.5 a 0.6 mm, y el tamaño máximo de 1.68 a 2.0 mm y el espesor de 0.8 a 1.0 m.
- El espesor de la capa de arena deberá ser 1/3 del espesor total del lecho.

La arena silícea o arena de sílice es un compuesto resultante de la combinación del sílice con el oxígeno. Es uno de los lechos filtrantes más usados para la depuración de agua potable. En la **Figura N° 32**, se muestra la arena silícea:



Figura N° 32: Arena Silícea

Fuente: Google, (s.f.)

La antracita deberá reunir las siguientes condiciones:

- Dureza mayor de 3 en la escala de Moh.
- Peso específico mayor de 1.55

- Contenido de carbón libre mayor del 85% en peso.
- La solubilidad en HCl al 40% en 24 horas debe ser menor de 2%.
- En una solución al 1% de NaOH no debe perderse más de 2% del material.
- La antracita deberá seleccionarse de acuerdo al tamaño efectivo de la arena, de tal forma que no se produzca un grado de intermezcla mayor a 3. Para que esto se cumpla la antracita debe ser el triple del tamaño efectivo de la arena.
- El espesor deberá ser $\frac{2}{3}$ de la altura total del lecho filtrante.

La antracita es un excelente medio de filtración para clarificación del agua en uso potable o industrial, cuando es usada en combinación con arenas filtrantes. Es un carbón mineral, de color negro, brillante, con gran dureza, presenta mayor contenido en carbono, hasta un 95%.

Debido a la forma especial de sus granos permite que el material que se encuentra en suspensión sea retenido en la profundidad del lecho filtrante. En comparación con un filtro de arena, este medio filtrante permite un desempeño en el filtro de mayor flujo, menos caída de presión y un mejor y rápido retrolavado. En la **Figura N° 33**, se muestra la Antracita:



Figura N° 33: Antracita

Fuente: Google, (s.f.)

La capa soporte del medio filtrante estará compuesta por grava, y las condiciones físicas a cumplir según RNE son:

- Debe ser obtenida de una fuente que suministre piedras duras, redondeadas, con un peso específico no menor de 3.5 (no más de 1% puede tener menos de 2.25 de peso específico).
- La grava no deberá contener más de 2% en peso de piedras aplanadas, alargadas o finas, en las que la mayor dimensión excede en tres veces la menor dimensión.
- Deberá estar libre de arcilla, mica, arena, limo o impurezas orgánicas de cualquier clase.
- La solubilidad en HCl al 40% debe ser menor de 5%.
- La porosidad de cada subcapa debe estar entre 35 y 45%.

Se recomienda utilizar la grava silícea se utiliza como soporte de los medios filtrantes, la parte cóncava del filtro verticales una áreas que no intervienen en la filtración, en la mayoría de los casos es recomendable rellenar con grava silícea está área, por ser un material que no le imparte ninguna característica al agua a tratar y es mucho más económica.



Figura N° 34: Grava silícea

Fuente: Google, (s.f.).

4.4.4. Efectividad de la planta de tratamiento:

Los resultados más resaltantes dentro de la planta de tratamiento son la calidad del agua tratada, y que porcentaje del tratamiento influye en cada proceso.

En la siguiente **Tabla N° 24**, se tiene los porcentajes de eficiencia de cada proceso que hay en la planta de tratamiento del proyecto, donde son referenciados por distintos autores que estudiaron los resultados de cada tratamiento en proyectos piloto y a escala real. En base a esos resultados se realizó el nivel de calidad del efluente haciendo una comparación según los resultados de la planta de tratamiento y las características de las aguas grises, verificando el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental (Riego restringido) establecidos por el Ministerio del Ambiente. Todo lo anterior mencionado se muestra en el **(ANEXO 3)**.

Tabla N° 24: Porcentaje de eficiencia de la planta de tratamiento

PORCENTAJE DE EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO							
PARAMETROS	PROCESOS DE TRATAMIENTO						
	Criba de desbaste	Cámara de estabilización y desengrasado	Filtro percolador de flujo ascendente anaeróbico	Cámara aerobia de lodos activados con lecho fluidizado	Cámara de decantación secundaria	Cloración y floculación	Filtro vertical
Aceite y grasas	25%	95%	35%				
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)			85%	97%			
Demanda Química de Oxígeno (DQO)			85%	95%			
NTK			75%	85%			
Coliformes Totales						99%	
Escherichia coli						95%	
Detergentes (SAAM)							99%
Sólidos Suspendedos totales	90%		35%		95%		99%
Fosforo total				8%			

Fuente: Odegaard et al. (1994), Odegaard et al., (1998), Palma, (2003), DWA/ATV (1997), Schlegel y Teichgraber, (2000), Rodgers, M. y Clifford, E., (2009) Ambrosio, J.M. y Monzón T.I. (1996), Rojas et al. (2010), Camargo, (2011), Tecno Coverting Engineering, (2015).

4.4.5. Almacenamiento del agua tratada y equipo de bombeo:

a) Almacenamiento del agua tratada:

La cisterna para el almacenamiento del agua tratada estará debajo del piso terminado para tener un mayor espacio y se pueda operar los motores y tableros de distribución cómodamente. Según RNE si se utiliza el sistema de bombeo

hidroneumático el volumen mínimo a usar será igual al consumo diario con un volumen superior a los 1000 litros.

En el edificio se tiene un consumo máximo de 13.92 m³/día y una producción promedio de 15.21 m³/día. Siendo el consumo del agua tratada variable por los días de riego de áreas verdes, es por eso que no se contara con este volumen como el máximo, si no, el mínimo para abastecer el punto primordial que son los tanques del inodoro, y se toma en cuenta el volumen máximo de producción de las aguas grises en el edificio que es de 21.92 m³.

El consumo como la producción es secuencial y están vinculados por las actividades fisiológicas del humano. Por ende no habrá complicaciones con el volumen del almacenamiento de agua tratada. Las dimensiones de la cisterna serán de 3.50 metros de largo, 3.50 de ancho y 2 metros de altura, el nivel del agua efectiva estará 1.80 metros (22.05 m³).

Habrá un control de nivel mínimo a los 0.30 m (3675 litros) que desactivara la succión de la bomba hidroneumática y un nivel máximo donde se ubicara un rebose a 1,90 m de altura con una tubería de 100 mm (4") conectada a drenaje del cuarto de bombas.

Al llegar al nivel mínimo el tablero de distribución hará sonar una alerta que avisara al operador, donde manualmente regulará el nivel de agua tratada con agua potable conectada a la cisterna para emergencias y mantenimiento. La tubería saldrá de la cisterna de agua potable hacia la cisterna de agua tratada sin tener contacto.

La cisterna de almacenamiento de agua tratada estará construida de materiales resistentes a zonas húmedas y las paredes como el fondo tiene que estar impermeabilizados. Se debe prever las labores de mantenimiento o limpieza sean efectuadas sin causar interrupciones prolongadas de servicio. La instalación contara con un "by pass" entre la tubería de distribución de agua potable y de agua tratada controlado por válvulas de cierre y de retorno, de preferencia hacerlo cuando no haya consumo entre la 1:00 a.m. a 4:30 a.m.

b) Equipo de bombeo:

El equipo de bombeo hidroneumático para el agua tratada tendrá los siguientes aspectos de diseño según RNE:

- Cisterna
- Electrobombas
- Tanque de presión
- Interruptor de presión para arranque y parada a presión mínima y máxima.
- Manómetro.
- Válvula de seguridad.
- Válvulas de interrupción que permitan la operación y mantenimiento del equipo.
- Dispositivo de drenaje del tanque con su respectiva válvula.
- Compresor o un dispositivo automático cargador de aire de capacidad adecuada.

El equipo seleccionado para la distribución de agua tratada es el EQUIPO HIDRONEUMÁTICO CON TANQUE DE MEMBRANA CHAMPION de la empresa HIDROSTAL, contando con los requerimientos básicos para el sistema de reciclado.

El tanque hidroneumático es un sistema de suministro de agua que tiene la ventaja de operar en condiciones de limpieza e higiene, distribuyendo el agua tratada a una presión constante. Se evita un mayor costo como en instalaciones de tanques elevados, refuerzos, exceso de tuberías y trabaja en espacios reducidos.

La secuencia del tanque hidroneumático se muestra en la siguiente **Figura N° 35:**

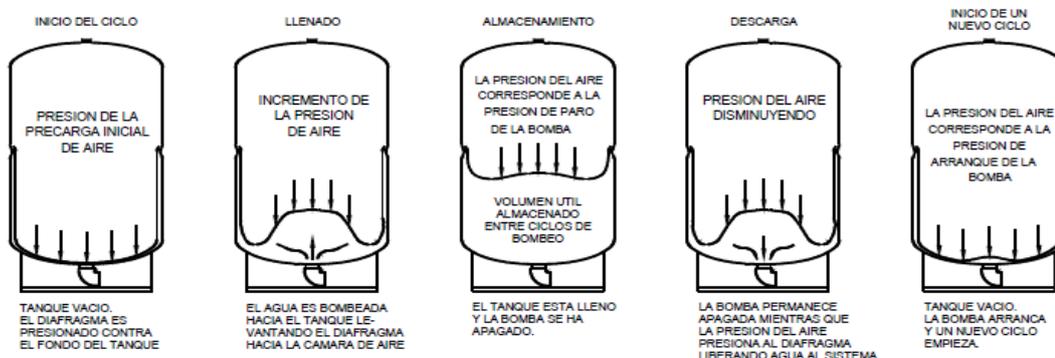
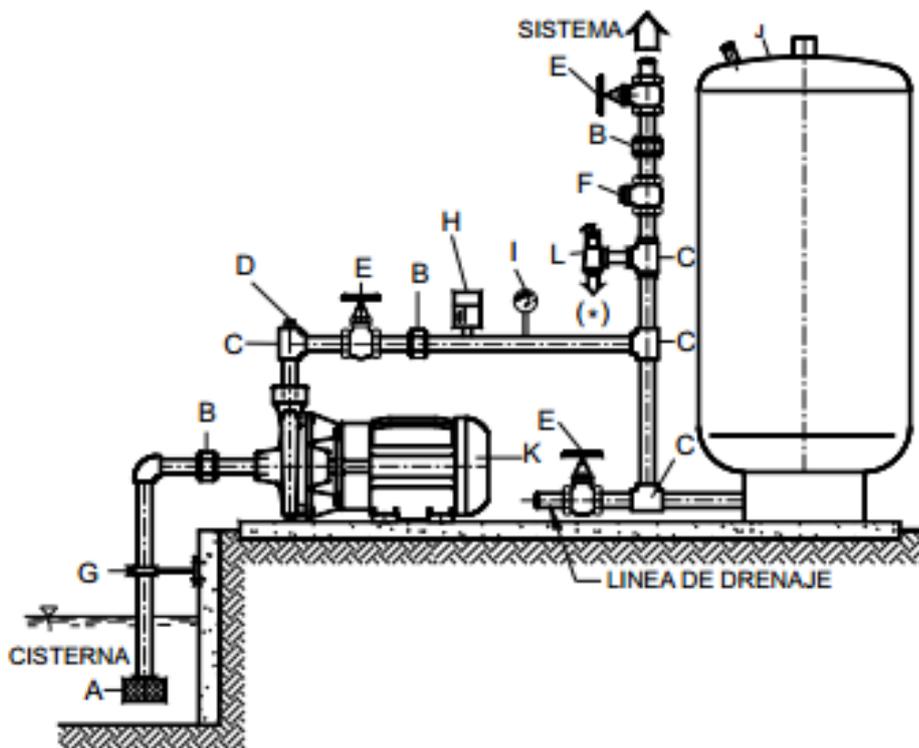


Figura N° 35: Secuencia del tanque hidroneumático

Fuente: Hidrostral, (s.f.).

El esquema de instalación de equipo hidroneumático se muestra en la siguiente **Figura N° 36:**



- A. Válvula de pie con canastilla
- B. Unión flexible
- C. Tee
- D. Tapón de cebado
- E. Válvula de compuerta
- F. Válvula check
- G. Soporte de tubería
- H. Presostato
- I. Manómetro
- J. Tanque Champion
- K. Electrobomba Hidrostral
- L. Válvula de Alivio
- M. Cruz

Figura N° 36: Esquema de instalación de equipo hidroneumático

Fuente: Hidrostral, (s.f.).

Criterios de diseño:

Para elegir el equipo hidroneumático de la red de agua tratada es necesario hacer los siguientes cálculos:

Datos del edificio:

Altura total	35.87 m
	117.6536 pies
pisos	12 niveles

Luego se analiza los valores de gasto para los puntos de distribución según la **Tabla N° 25:**

	N° de aparatos	valores	TOTAL
Inodoro	80	3	240
Punto de limpieza	40	1	40
			280

Tabla N° 25: Valores de gasto

Para casas y edificios		Escuelas, oficinas, restaurantes, etc.	
UNIDAD	VALORES	UNIDAD	VALORES
Lavatorio	1	Lavatorio	2
Lavatorio de cocina	2	Lavatorio de cocina	4
Tina	2	Urinario con tanque	3
Ducha	2	Inodoro	5
Inodoro	3	Ducha	4
Baño completo con Inodoro	6		
Medio baño poco usado	3		
En caso que el inodoro sea con válvula, agregar 5 valores más. El tipo de bomba más chica con la que se puede usar con válvula es el de 1.4 HP.			

Fuente: Hidrostral, (s.f.).

Se muestra en la **Tabla N° 25**, los valores de gasto del método Hunter, obteniendo un total de 280 valores de gasto en el cálculo, dándonos un caudal de 3.07 l/s. En la siguiente **Tabla N° 26** presentamos la selección del equipo hidroneumático en función a los valores hallados.

Tabla N° 26: Tabla de selección de equipo hidroneumático

VALORES	Q [l/s]	NUMERO DE PISOS												TUBERIA QUE SALE DEL EQUIPO					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12						
		20 - 40 PSI		25 - 45		30 - 50		35 - 55		40 - 60		45 - 65			50 - 70		55 - 75		60 - 80
20	0.54	1M 1B CH20 A11 - 0.8 M			1M 1B CH-32 A11 - 1.4 M										3/4"				
30	0.68	1M 1B CH-32 A11 - 0.8 M							1M 1B CH-82 MULTI H-204 - 1.5 M / T						1"				
40	0.85	1M 1B CH-32 MULTI H-202 - 0.75 M / T																	
50	1.16																		
60	1.25				1M 1B CH-32 MULTI H-203 - 1.0 M / T										1.1/4"				
70	1.34								1M 1B CH-88 MULTI H-404 - 2.0 M / T										
80	1.45	1M 1B CH-82 MULTI H-402 - 1.0 M / T													1.1/2"				
100	1.67																		
120	1.83				1M 1B CH-82 MULTI H-403 - 1.5 M / T				1M 1B CH-119 MULTI H-405 - 2.5 M / T										
150	2														2"				
200	2.45								2M 1B CH-119 MULTI H-804 - 3.3 T										
240	2.75	2M 1B CH-82 MULTI H-802 - 2.0 M / T			2M 1B CH-88 MULTI H-803 - 2.5 T														
280	3.07								2M 1B CH-119 C1.1/2 x 2 - 5.7 T										
320	3.37														2.1/2"				
400	3.97	2M 1B CH-119 B1.1/2 x 2 - 3.4 T			3M 1B CH-119 B1.1/2 x 2 - 5.7 T														
600	5.34								3M 1B CH-119 C1.1/2 x 2 - 8.6 T										
800	6.6								3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T										

Fuente: Hidrostral, (s.f.).

Según los resultados de la **Tabla N° 26**, tenemos que:

El caudal lo convertimos en gl/min para calcular el volumen total del tanque del equipo:

Q	3.07 l/s
	184.2 l/min
	48.67 gl/min

Si el caudal fuera mayor a 50 gl/min, se necesitara reguladores de presión.

Luego hallamos la presión mínima de trabajo del tanque:

Pmin	45.04	m.c.a.
	64.05	psi

Se considera trabajar con presiones de 65 a 85 psi como máximo. En la siguiente **Figura N° 37**, calculamos la potencia de los motores:

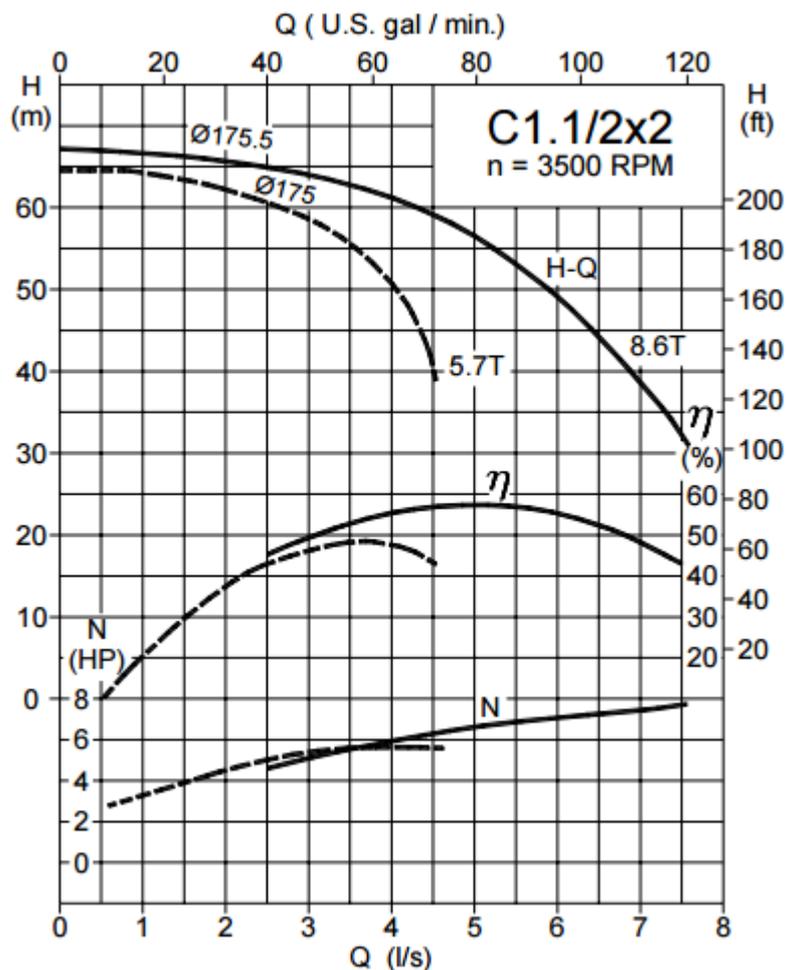


Figura N° 37: Curvas de operación a 60 Hz

Fuente: Hidrostral, (s.f.).

Según las curvas de la **Tabla N° 37** en condiciones normales de operación de acuerdo a la norma ISO 9906:2012 Grado 2B. La potencia necesaria para distribuir el agua tratada será de 5.7 HP – trifásico, con salidas de 2" para succión y 1.1/2" para descarga. El proceso de instalación, mantenimiento y operación con las características del equipo hidroneumático estarán en el **(ANEXO 5)**.

Para hallar el volumen útil el coeficiente "K" utilizando la siguiente **Tabla N° 27**:

Motor	5.7 HP
P	4.218 Kw
K	0.52

Tabla N° 27: Coeficiente K de volumen útil

P (Kw)	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	8,00	10,00
K	0,25	0,33	0,42	0,5	0,58	0,66	0,83	1,00

Fuente: Sabatini bombas & mecanizados, (2012).

El volumen útil es el volumen utilizable del volumen total del tanque y representa la cantidad de agua a suministrar entre la presión máxima y la presión mínima. Quiere decir, que se refiere a la cantidad de agua que podrá consumir la instalación sin necesidad que arranque la electrobomba.

Se calcula con la siguiente formula:

Ecuación 4:

$$Vu = Qd \times k$$

Dónde:

Q: El caudal de diseño (l/min)

K: Coeficiente

$$Vu = 184.2 \text{ lt/min} \times 0.52$$

Volumen Útil	95.78 litros
	25.31 gl

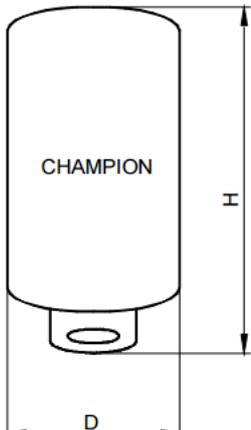
Teniendo todos los datos para el equipo hidroneumático, se escoge el modelo del equipo HIDROSTAL, según la **Tabla N° 26**, anteriormente dada:

- 2 M: 2 tanques tipo CH-119 (119 gl)
- 1 B: Una bomba tipo C1.1/2 x 2
- Potencia: 5.7 HP – trifásico

En la siguiente **Tabla N° 28**, se muestra los datos técnicos del equipo hidroneumático de Hidrostral:

Tabla N° 28: Datos técnicos del equipo hidroneumático

	MODELO DEL TANQUE	VOLUMEN TOTAL (GAL)	VOLUMEN UTIL			PRESION DE PRECARGA (PSI)	DIMENSIONES (PULG)		DIAMETRO DE DESCARGA (PULG)	PESO (LB)
			20/40 PSI	30/50 PSI	40/60 PSI		D	H		
VERTICAL CON BASE	CH-20	20.0	7.3	6.2	5.4	28	15	32	1	35
	CH-32	32.0	11.2	9.9	8.6	28	15	48	1	43
	CH-62	62.0	22.9	19.2	16.7	38	22	47	1 1/4	92
	CH-86	86.0	31.8	26.7	23.2	38	26	47	1 1/4	123
	CH-119	119.0	44.0	36.9	32.1	38	26	62	1 1/4	166



Fuente: Hidrostral, (s.f.)

El modelo del tanque es CH-119 de dimensiones, 0.78 m de diámetro y 1.86 de altura y con un volumen total de 119 galones (450 litros). En la **Tabla N° 26**, se recomienda utilizar 2 tanques en paralelo por la cantidad de caudal que tiene la bomba y para aliviar el uso del motor.

4.4.6. Puesta en servicio:

Las recomendaciones básicas para la puesta en servicio se realizarán de acuerdo a las instrucciones facilitadas de los fabricantes de cada producto. En el caso de la criba de desbaste se recomienda hacer una revisión de las rejillas, que estén bien colocadas y no haya una obstrucción, al igual que en el punto de rebose. La superficie de cada cámara tiene que estar completamente libre de materiales y/o desechos orgánicos e inorgánicos que genere taponamientos en el sistema.

Antes que la planta esté en contacto con el agua gris, se recomienda circular agua potable en la planta de tratamiento y verificar que las cámaras trabajen adecuadamente, al igual que los niveles de control y el equipo hidroneumático.

Cuando ingrese el agua gris a la planta de tratamiento se observará los procesos, llevando un control en los primeros días para su regulación y configuración. Se necesitará de un biólogo y químico para tomar muestras del agua tratada y analizarlas en el laboratorio, para garantizar el correcto funcionamiento de

la instalación. Estos controles analíticos se llevaran a cabo con una periodicidad mínima quincenal para la verificación de resultados, los principales controles serian DBO, DQO, Coliformes Totales, E. Coli, cloro residual libre, pH y turbidez.

En la **Tabla N° 29**, se muestra los siguientes controles básicos en el agua tratada:

Tabla N° 29: Controles básicos en el agua tratada

CONTROL EN EL AGUA TRATADA	FRECUENCIA
TURBIDEZ (NTU)	Quincenal
DBO	Mensual
DQO	Mensual
E. COLI (UFC/100ml)	Semestral
pH	Quincenal
Cloro residual	Quincenal

Fuente: Aqua España, (2011)

El operador de la planta de tratamiento será capacitado por los proveedores o de personal calificado, y tendrá a su disposición los manuales de operación, instalación y operación del todo el sistema de reciclado.

4.5. INFORMACION BASICA PARA EL USUARIO Y OPERADOR

4.5.1. Información básica para el usuario:

Gran parte del éxito de los edificios que reciclan las aguas grises está en la correcta información suministrada a los usuarios de estas instalaciones. Por ello, es fundamental que éstos conozcan que suministros son los genera el agua que se va a reciclar, y en qué actividades no se necesita emplear el agua apta para el consumo humano, sino reciclando la propia agua gris generada por él u otros usuarios en el propio edificio.

La documentación básica a nivel del usuario final, deberá ser entregada a los mismos y en la que se debe informar detalladamente de los siguientes puntos:

- Las ventajas que posee el edificio al disponer de un sistema de reciclaje de aguas grises, con el consiguiente ahorro que esto supone.
- Las características del agua gris antes de tratar y de los puntos de captación de la misma relacionados con el usuario, con las consiguientes recomendaciones al respecto, especificando, las sustancias que no deben ser vertidas en la red como grasas, colorantes, ácidos, productos químicos, etc.
- Las características del agua gris tratada por la planta de tratamiento, los puntos de entrega de la misma relacionados con el usuario, con las consiguientes recomendaciones, posibles incidencias y actuaciones básicas al respecto.
- Las operaciones periódicas de limpieza que deban ser realizadas por cada usuario y la frecuencia con que deben ser efectuadas.
- La operativa a seguir por el usuario ante periodos de ausencia de consumo (vacaciones, etc.), así como el procedimiento a seguir en caso de presentarse alguna anomalía (malos olores, etc.).

La documentación del usuario final, es responsabilidad de la entidad encargada de la administración del edificio de su entrega al usuario final.

4.5.2. Catálogo de operaciones:

Todos los procesos tienen que tener una documentación básica de su instalación, mantención y operación, así como los datos recopilados en la puesta en servicio y en operaciones normales, con operaciones normales se entiende a la rutina diaria de la operaciones que se tiene que dar, como es el de supervisar los niveles de agua gris y tratada, observar el correcto funcionamiento de las cámaras, verificar la dosificación de cloro y floculante, comprobar que el agua tratada en la cisterna este con las características que dispone y que el bombeo no tenga complicación alguna.

Los problema comunes donde el operador puede intervenir son: la presencia de malos olores u olores irritantes en el agua tratada y obstrucciones en la planta de tratamiento. Los olores fuertes que emanen del agua tratada en la cisterna o en los puntos de uso pueden ser por exceder el tiempo de residencia del agua en las tuberías o cisterna. Otro punto, si el olor es irritante puede ser por la sobredosificación de cloro, de ser así, se debe comprobar los niveles de aplicación y que funcione correctamente la bomba dosificadora.

En el caso que los problemas sean por un mal funcionamiento de un proceso dentro de las cámaras de la planta de tratamiento o un problema en el bombeo, se debe identificar y detener el paso del agua gris cerrando la válvula de ingreso y que vaya hacia el alcantarillado. Luego abrir el “by pass” conectado a la red de agua tratada para que circule agua potable hasta que el problema se haya solucionado. El responsable de la operación y mantenimiento tendrá toda la información en un diario de operaciones que tendrá la siguiente información:

- a. Datos y tipos identificativos de la instalación.
 - Localización del dispositivo, si es aplicable.
 - Datos del propietario y del operador.
 - Fecha de puesta en servicio.
 - Parámetros significativos en la puesta en servicio.
- b. Datos de intervenciones de mantenimiento:
 - Fecha de la intervención.
 - Tipo de intervención.
 - Responsable de la intervención.
 - Acciones efectuadas.

- Comprobación del correcto funcionamiento del equipo.
 - Datos de rendimiento de la instalación.
- c. Datos de incidencias y reparaciones:
- Fecha de la incidencia.
 - Tipo de incidencia.
 - Responsable de la actuación.
 - Reparación o acción correctora efectuada.
 - Verificación de la resolución de la incidencia y comprobación del correcto funcionamiento del equipo.
- d. Controles analíticos:
- Fecha del análisis.
 - Responsable del control.
 - Parámetros analizados y resultados obtenidos.
 - Valoración de resultados.
 - Acciones correctoras realizadas, cuando se requieran

4.5.3. Costos de operación y mantenimiento a largo plazo:

La presencia de un operador es muy importante para el funcionamiento de la planta de tratamiento, no necesariamente cualificado, dedicado netamente al sistema de reciclaje de aguas grises (Planta de tratamiento, redes y bombeo). El sueldo mensual será de S/. 1000.00 nuevos soles, y de preferencia que esté permanentemente en el edificio. El costo de O&M (Operación y mantenimiento) durante los 20 años de garantía del sistema de reciclado de aguas grises será de S/. 276,000.00 Nuevos Soles según **Tabla N° 30**.

También se requerirá los servicios de un biólogo y/o químico que controlara el agua tratada para su vertimiento. La periodicidad será cada quince días como mínimo. Los costos en 20 años del control en la Planta se muestran en la **Tabla N° 31**.

Tabla N° 30: Costos de operación y mantenimiento

GARANTIA	OPERADOR	SUELDO AL MES	COSTO A LARGO PLAZO (20 años)
20 años	1	S/. 1,000.00	S/. 240,000.00
Herramientas manuales		15%	S/. 36,000.00
TOTAL			S/. 276,000.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 31: Costos de los controles básicos del agua tratada

PARAMETRO	FRECUENCIA	P.U	COSTO EN 20 AÑOS
TURBIDEZ (NTU)	Quincenal	S/. 80.00	S/. 38,400.00
DBO ₅	Mensual	S/. 120.00	S/. 28,800.00
DQO	Mensual	S/. 100.00	S/. 24,000.00
E. COLI (UFC/100ml)	Semestral	S/. 250.00	S/. 10,000.00
pH	Quincenal	S/. 30.00	S/. 14,400.00
Cloro residual	Quincenal	S/. 45.00	S/. 21,600.00
			S/. 137,200.00

Fuente: Elaboración propia

4.5.4. Costo de energía a largo plazo:

Para nuestro sistema de reciclado de agua gris, la fuente de energía que utiliza genera un importante gasto que se muestra en la **Tabla N° 32**, que también puede ser recuperable sosteniblemente.

Tabla N° 32: Costo de energía del sistema de reciclado

EQUIPO	CANTIDAD	Kw	kW.h	COSTO POR kW.h (Electrosur)	kW/mes
Bomba hidroneumática	1	4.247	764.37	0.5414	S/. 413.83
bomba sumergible	2	0.745	134.10	0.5414	S/. 72.60
Blower	1	0.375	90.00	0.5414	S/. 48.73
Tablero PLC e Hipoclorador	1	0.220	79.20	0.5414	S/. 42.88
TOTAL AL MES					S/. 578.04
En 20 años					S/. 138,728.77

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla N° 32** se muestra los costos de energía eléctrica que genera el sistema de reciclado de aguas grises en el edificio. Teniendo un costo mensual de S/. 578.04 Nuevos Soles, que dentro de 20 años hará un acumulado de S/. 138,728.77 Nuevos Soles.

Este gasto energético puede ser abastecido por fuentes alternativas sostenibles como los paneles fotovoltaicos. Estos son una fuente de energía renovable e inagotable que garantiza un ahorro energético importante para el sistema de reciclado, siendo instalados en la cornisa del edificio o un lugar amplio donde no tenga sombra. Un panel puede cubrir de 50w a 120w dependiendo del tamaño, por ejemplo la bomba sumergible consume 1 HP que son 745 w, para un

trabajo de 6 horas es de 4.5 kW.h. Y calculando la máxima potencia de un panel de 50 W tenemos que:

Ecuación 6:

$$WMP = \frac{50W \times 5.5}{1000} \times 30.4 = 8.36 \text{ kW/h}$$

Dónde:

- 5.5 (kWh/m²/día) es la radiación incidente diaria en Tacna entre fechas de mayo y agosto (SENAMHI, 1999).
- 30.4 días, es la producción mensual del panel.

Resulta un valor 8.36 kW/h generado por un panel de 50w.

Vemos que esta fuente de energía renovable es viable en todos los sentidos para alimentar la planta de tratamiento.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1. COSTOS DE AGUA POTABLE EN EL EDIFICIO (SIN EL SISTEMA DE RECICLAJE):

La Empresa Prestadora de Servicios (EPS Tacna S.A.), tiene un sistema tarifario que está en el **(ANEXO 2)**, que comprende las tarifas de S/. 0.974/ m³ para agua, y S/. 0.409/ m³ para desagüe. En la siguiente **Tabla N° 33** mostramos el cálculo del consumo de agua que tendrá el edificio por departamento en función a la dotación calculada, sin el sistema de reciclaje:

Tabla N° 33: Costos de agua potable en el edificio (Sin el sistema de reciclaje)

Consumo total en el edificio		Consumo en áreas verdes		Tarifa del agua S/. Por m ³	Tarifa del desagüe S/. Por m ³	Cargo fijo	Impuesto IGV	Total consumido m3/día	Total consumido en el edificio m ³ /mes	Total consumido en áreas verdes m ³ /mes
30,993.60	l/ día	3600	l/día	0.974	0.409	2.59	0.18	34.59	929.81	108.00
30.99	m ³ / día	3.60	m ³ /día							

COSTO CONSUMO EN EL EDIFICIO	TARIFAS	S/.905.63	S/.380.29	S/.2.59	S/.231.93
	TOTAL AL MES	S/.1,520.45			
COSTO RIEGO DE AREAS VERDES	TARIFAS	S/.105.19	S/.44.17	S/.2.59	S/.27.35
	TOTAL AL MES	S/.179.31			
TOTAL	TARIFAS	S/1,010.82	S/.424.46	S/.2.59	S/.258.82
	TOTAL AL MES	S/.1,696.70			

M³ POR DEPARTAMENTO	25.95
FACTURACIÓN POR DEPARTAMENTO	S/.42.42

Fuente: Elaboración propia

Para la estructura tarifaria de la EPS Tacna S.A. la categoría del edificio multifamiliar es de uso doméstico y el rango de consumo está entre 8 a 20 m³/mes por departamento.

Podemos ver en la **Tabla N° 33**, que el costo en el consumo de agua potable solo en el edificio con la dotación per cápita calculada es de S/. 1,696.70 nuevos soles al mes. Al repartir el costo de consumo en el edificio en cada departamento sería de S/. 42.42 Nuevos Soles al mes que aproximadamente son 25.95 m³, esta tarifa está dada asumiendo un consumo promedio por departamento lo cual es variable.

5.2.- COSTOS DE AGUA POTABLE EN EL EDIFICIO (CON EL SISTEMA DE RECICLAJE):

Para analizar el ahorro de agua que este sistema de reciclado genera, se utiliza la dotación promedio calculada:

Tabla N° 34: Compilación de la dotación de agua potable y aguas grises

AGUA POTABLE		
Dotación promedio	34,593.60	Lt/día

AGUA GRIS		
Producción mínima	12,823.20	Lt/día
Producción media	15,223.20	Lt/día
Producción máxima	21,924.00	Lt/día

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla N° 34** el valor calculado del agua potable está dada por la dotación promedio en el edificio (30,993.60 Lt/día) más el consumo de agua en áreas verdes (3,600 Lt/día).

Para el cálculo de los costos de ahorro se utilizara la producción media de aguas grises de 15,223.20 Lt/día, con respecto a la dotación promedio calculada. En la siguiente **Tabla N° 35**:

Tabla N° 35: Costos de agua potable en el edificio (Con el sistema de reciclaje)

DOTACION CALCULADA			
Descripción	Dotación en el edificio		Facturación
Agua potable	m ³ /día	m ³ /mes	
	34.59	1037.81	S/. 1,696.70
	Dotación por departamento		
	0.86	25.95	S/. 42.42
Agua gris			
	Dotación en el edificio		
	m ³ /día	m ³ /mes	
	15.22	456.70	S/. 748.36
	Producción por departamento		
	0.38	11.42	S/. 18.71
Nueva dotación ahorrando			
	Dotación en el edificio		
	m ³ /día	m ³ /mes	
	19.37	581.11	S/. 948.34
	Dotación por departamento		
	0.48	14.53	S/. 23.71
Ahorro por persona			
			S/. 3.12
Ahorro en 20 años por persona			
			S/. 748.36
Total ahorrado por departamento			
			S/. 18.71
% de ahorro			
			44%

Fuente: Elaboración propia

En consecuencia de lo mostrado en la **Tabla N° 35**, podemos deducir que el usuario del departamento, de estar pagando mensual S/. 42.42 nuevos soles, con la nueva propuesta de este sistema de reciclado estaría pagando solo S/. 23.71 Nuevos Soles, es decir, teniendo un ahorro del 44% en lo económico, pero lo más importante es que preservemos el agua.

Se ahorrara por departamento S/. 18.71 Nuevos Soles que equivalen a 11,420 litros/mes, que en un año será 137,040 litros, lo que quiere decir que todo el edificio en un año podrá ahorrar hasta 5'480.400 litros con este sistema de reciclado.

El ahorro por persona es de S/. 3.12 Nuevos Soles al mes. En 20 años hará un acumulado de S/. 748.36 Nuevos Soles.

5.3. PRESUPUESTO TOTAL DEL SISTEMA DE RECICLADO Y TIEMPO DE RECUPERACIÓN

Para realizar el presupuesto de todo el sistema de reciclado se contactó y cotizo con proveedores a nivel nacional e internacional. Empresas dedicadas a la producción de recursos para el tratamiento de aguas residuales. A continuación se muestra la **Tabla N° 36**, el presupuesto total del sistema de reciclado:

Tabla N° 36: Presupuesto de la planta de tratamiento

COSTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO						
MATERIAL	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	P.U	TOTAL	EMPRESA O PROVEEDOR
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	Criba de desbaste + PTAR	und	1.00	S/. 14,900.00	S/. 14,900.00	Industrial Fiberglass Intenso S.A.C. (Lima)
Reja de aluminio	Criba de desbaste	und	2.00	S/. 550.00	S/. 1,100.00	Industrial Fiberglass Intenso S.A.C. (Lima)
Bomba sumergible	Criba de desbaste + PTAR (Con sensor incluido)	und	2.00	S/. 5,668.65	S/. 11,337.30	TRUPER S.A (Lima)
Soportes de polipropileno	Filtro percolador de flujo ascendente anaeróbico	m ³	2.00	S/. 3,223.00	S/. 6,446.00	GEXCOM - GEOFUTURE (Colombia)
Soportes de polietileno	Proceso aerobio de lodos activados con lecho fluidizado - MBBR	m ³	2.00	S/. 1,938.00	S/. 3,876.00	GEXCOM - GEOFUTURE (Colombia)
Difusor de aire	MBBR	und	1.00	S/. 2,422.23	S/. 2,422.23	Codemet S.A (Ecuador)
Blower	MBBR	und	1.00	S/. 1,453.50	S/. 1,453.50	Codemet S.A (Ecuador)
Panel lamelar	Decantación secundaria	und	1.00	S/. 1,278.72	S/. 1,278.72	Tecno Converting (España)
Tablero de distribución	tablero de distribución con PLC	und	1.00	S/. 3,500.00	S/. 3,500.00	ROJESAN S.A.C (Tacna)
Equipo hidroneumático	Bombeo	und	1.00	S/. 8,033.30	S/. 8,033.30	HIDROSTAL (Lima)
Sensor de nivel	Cisterna de agua tratada	und	1.00	S/. 64.90	S/. 64.90	BONNET S.A (Lima)
Bomba	Proceso de	und	1.00	S/. 1,440.90	S/. 1,440.90	AQUATROL

dosificadora de cloro	cloración					PERU S.A.C (Lima)
Bomba dosificadora floculante	Proceso de floculación	und	1.00	S/. 1,275.75	S/. 1,275.75	AQUATROL PERU S.A.C (Lima)
Filtro vertical	Filtro de arena, antracita y grava	und	1.00	S/. 478.45	S/. 478.45	-
TOTAL					S/. 57,607.05	NO INCLUYE IGV

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla N° 36**, se tiene un costo aproximado para la planta de tratamiento de S/. 57,607.05 nuevos soles. Para tener un presupuesto total se analizó el costo de los suministros e instalación del sistema de reciclado utilizando el software S10 Costos y Presupuestos, que se encuentra en el **(ANEXO 4)**, obteniendo un presupuesto de S/. 210,383.52 nuevos soles, incluido el IGV (Impuesto general a la venta), gastos generales y utilidades, que costeará todo el sistema de reciclaje en el edificio.

Considerando los costos variables de O&M (Tabla N° 30), energético (Tabla N° 32) y de control de la planta de tratamiento (Tabla N° 32), con una garantía de 20 años, tenemos que el presupuesto total del Sistema de reciclado de aguas grises para el edificio es de S/. 762,312.29 Nuevos Soles, mostrado en la siguiente **Tabla N° 37**:

Tabla N° 37: Presupuesto total del sistema de tratamiento de aguas grises

PRESUPUESTO TOTAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES	
COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	S/. 276,000.00
COSTOS DE LOS CONTROLES BASICOS DEL AGUA TRATADA	S/. 137,200.00
COSTO DE ENERGÍA DEL SISTEMA DE RECICLADO	S/. 138,728.77
COSTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES E INSTALACION DE REDES	S/. 210,383.52
TOTAL	S/. 762,312.29

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El diseño de la planta de tratamiento de aguas grises propuesto, cumple con los parámetros de los estándares de calidad, Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, Subcategoría: Agua para riego restringido dado por el D.S. N° 004-2017-MINAM, guiado por las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS), Tal como se muestra a detalle en el **(ANEXO 3)**.
- Los beneficios directos que proporciona el construir un sistema de reciclado, genera un ahorro en el consumo de agua potable y por ende, en la economía de los usuarios en los departamentos; los costos disminuyeron de S/. 42.42 nuevos soles, a S/. 23.71 Nuevos Soles por departamento. Ahorrando por persona S/. 3.12 Nuevos Soles, que en 20 años hará un acumulado de S/. 748.36 Nuevos Soles, como se ha determinado en la **Tabla N° 35**.
- El porcentaje de agua a reutilizar, es de 44%; siendo este dato significativo, tanto para el cuidado del agua como para la parte económica; su determinación se muestra en la **Tabla N° 35**.
- El monto a invertir en el sistema de reciclado de aguas grises en el edificio es de S/. 762,312.29 Nuevos Soles y es viable ejecutarlo siendo financiado por la inmobiliaria, garantizando su operación y mantenimiento por 20 años. Después de los 20 años los beneficiarios asumirán el costo de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento, sabiendo que los propietarios ahorraron S/. 179,712.00 Nuevos Soles durante los 20 años. Una opción es crear un fondo de los beneficiarios con lo ahorrado mensualmente para cubrir estos gastos a largo plazo. El punto más importante para la viabilidad del proyecto es la cantidad de agua que se ahorrara por persona que es 63.43 l/d promedio (**Tabla N° 14**), disminuyendo el estrés hídrico que hay en la Ciudad de Tacna, siendo este valor incalculable.

RECOMENDACIONES

- Actualmente hay una certificación de edificios sostenibles desarrollado por el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos (US Green Building Council), que tiene como objetivo avanzar en la utilización de estrategias que permitan una mejora global en el impacto medioambiental de la industria de la construcción, que espera promover estas propuestas de construcción sostenible en todo el mundo y que ya lo están haciendo en algunos países de latino américa. Siendo premiadas y valoradas a nivel mundial, inclusive puede ser financiada por estas empresas.
- El impacto ambiental que produce el sistema de reciclado de aguas grises en el edificio es totalmente positivo, por el ahorro de agua que produce. Por ello se recomienda utilizar estas tecnologías no solo en edificios; si no, en colegios, instituciones públicas y privadas, hospitales, etc. Que ayudara a contribuir con el cuidado del medio ambiente.
- La integración de los propietarios a la edificación sostenible, teniendo la información básica para el funcionamiento correcto del sistema de reciclado y la capacitación, permiten promover una cultura de ahorro cotidiano.
- Es recomendable que el operador del sistema, reciba una capacitación previa por parte de los proveedores, teniendo todos los manuales de los procesos y un diario de operaciones para eventos que puedan suceder en el sistema de reciclado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abu, L., Zeeman, G., Fayyad, M., Jules B. Van Lier, Grey water treatment in a series anaerobic – Aerobic system for irrigation, *Bioresource Technology* 101 (2010) 41–50.
- Al-Hamaiedeh, H., & Bino, M. (2010). Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants. *Desalination*.
- Al-Jayyousi, O. (2003). Greywater reuse: towards sustainable water management. *Desalination*, 181 - 192.
- Altozano, (s.f.). Paseo de la alameda, Tacna. Recuperado de: <http://altozano.pe/proyectos/paseo-de-la-alameda/>
- Ambrosio, J.M. y Monzón T.I. (1996). Reducción simultánea de DBO, NH₄⁺ y Desnitrificación en un reactor de Biopelícula.—Curso sobre tratamiento de Aguas residual y explotación de estaciones Depuradoras, Tratamientos Biológicos: Procesos de Biopelícula fijall. Universidad de Cantabria, España.
- AnoxKaldnes/ Krüger/ Veolia water. Design Memo for a Kaldnes Moving Bed™ biofilm technology, EUA, 2010. Recuperado de: http://www.google.com/search?q=anoxkaldnes+medium+bubble+aeration+system&rlz=117GGLL_es&ie=UTF-8&oe=UTF-8&sourceid=ie7
- Aqua España, (2011). Guía técnica española de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios. Recuperado de: <https://aqua-ambient.com/wp-content/uploads/2016/04/GUIA-TECNICA-ESPANOLA-RECICLAJE-AGUAS-GRISES-CS-AG-AQUA-ESPANA.pdf>
- Arboleda J. (1992). Métodos de aplicación de cloro. Ed Acodal. Colombia.
- Arce Jáuregui, L.F. (2013). *Urbanizaciones sostenibles: Descentralización del tratamiento de aguas residuales residenciales*. (Tesis de grado). Facultad de ciencias e ingeniería. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- BBC Mundo. (2014). Un poco de orina para que todo sea verde. Recuperado de: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/02/140207_ciencia_orina_reciclaje_fertilizante_np
- Camargo Rodríguez, M. P. (2011). *Efecto de la aireación sobre la remoción de materia orgánica y nitrógeno en biorreactores de lecho móvil*. (Tesis de maestría). Facultad de ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Carvajal, L., Coppard, D., Fuentes, R., Ghosh, A., Giamberardini, C., Johansson, C. Yaqub, S. (2006) *Informe sobre el desarrollo humano 2006*: PNUD.

- Recuperado de:
http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_2006_es_completo.pdf
- Collazos, C. (2008). Tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. Bogotá: Universidad Nacional - Facultad de Ingeniería
- CEPIS – OPS (1996). Curso de tratamiento y uso de aguas residuales. Lima: CEPIS, OPS & OMS.
- Chaillou, K., Gérente, C., Andrès, Y., & Wolbert, D. (2011). Bathroom Greywater Characterization and Potential Treatments for Reuse. *Water Air Soil Pollut*, 215, 31–42.
- DWA/ATV (1997). Plants with Submerged Fixed Beds – ATV Manual for Biological and Advanced Wastewater Treatment (in German), 4th, Ernst und Sohn, Berlin. 197–213.
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., & Ledin, A. (2002). Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, 85-104
- Fresneda C. (2012). EL MUNDO: Un planeta saturado por la población y el consumo. Londres, RU. Recuperado de <http://www.elmundo.es/elmundo/2012/04/26/ciencia/1335456278.html>
- Friedler, E., & Hadari, M. (2006). Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi storey buildings. *Desalination*, 221–234.
- Gallo, H. (2010). *Plantas de tratamiento de aguas grises*. Buenos Aires.: Universidad de Morón - Facultad de Arquitectura.
- GEXCOM – GEOFUTURE. (s.f.). Recuperado de: <https://geo-future.es.tl/>
- Gideon P. Winward, Lisa M. Avery, Ronnie Frazer-Williams, Marc Pidou, Paul Jeffrey, Tom Stephenson, Bruce Jefferson, A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse, *Ecological Engineering* (2008) 187–197, p. 2.
- Google. (s.f.). [Mapa de Tacna, Perú en Google maps]. Recuperado el 3 de Junio, 2017, de:
https://www.google.com.pe/search?q=san+pedro+de+latarce+tacna&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwigmoe79ozXAhVKOZAKHdszAEwQ_AUICygC&biw=1600&bih=769#imgrc=h9dAXtwDd2xt5M
- Google. (s.f.). [Arena silícea, en Google imágenes]. Recuperado el 23 de Julio, 2017, de:
https://www.google.com.pe/search?q=arena+silica&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjny5qq0ZnXAhVKKyYKHTudD-sQ_AUICigB&biw=1600&bih=769#imgrc=3yf0DYMZKyOCeM:

Google. (s.f.). [Antracita, en Google imágenes]. Recuperado el 23 de Julio, 2017, de:

<https://www.google.com.pe/search?biw=1600&bih=769&tbm=isch&q=antracita+para+filtros+de+agua&sa=X&ved=0ahUKEwiStceB0pnXAhUD WMKHcDVA PgQhyYIIQ#imgrc=BrLqhtCLI-WqWM>:

Google. (s.f.). [Grava silícea, en Google imágenes]. Recuperado el 23 de Julio, 2017, de:

https://www.google.com.pe/search?biw=1600&bih=769&tbm=isch&sa=1&ei=Mj3WbS1K8 WjwPg2pzQDw&q=grava+silicea&oq=grava+silicea&gs_l=psy-ab.3..0j0i24k1l4j0i10i24k1j0i24k1l4.45211.47593.0.47734.17.10.1.0.0.0.606.1794.3-1j2j1.4.0....0...1.1.64.psy-ab..13.4.1193...0i67k1.0.s9N3olhZoiU#imgrc=hETv-CyBkKTWmM:

Hem, L. J, B.Rusten, y Odegaard H.(1994).Nitrification in a Moving Bed Biofilm Reactor.Water Science and Technology, vol 28, 1425-1433.

Hidrostal, (s.f.). Bomba Hidroneumatica. Recuperado de: <http://www.hidrostal.com.pe/#>

Hocaoglu, S., Insel, G., UbayCokgor, E., & Baban, A. a. (2010). COD fractionation and biodegradation kinetics of segregated domestic wastewater: black and grey water fractions. Chemical Technology and Biotechnology

Hoffmann, H.; Platzer, C.; Winker, M.; Von Muench, E. (2011). *Technology Review of Constructed Wetlands – Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment. Eschborn, Germany - GIZ y ECOSAN. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.*

Hosseini, M., Reza, S. (2007). Upgrading of Wastewater Treatment Plant Using an Aerated Submerged Fixed Film Reactor (ASFFR) European Journal of Scientific.

Hu, Z. y Gagnon G.A. (2006). Factors affecting recirculating biofilters (RBFs) for treating municipal wastewater. Journal of Environmental Eng.Sci. vol.5, 349-357.

Hynes, W. (1974). Manual of greywater treatment practice: Characterisation of typical household greywater. . J.H.T.: Winneberger.

Jamrah, A., Al-Futaisi, A., Prathapar, S., & Al Harris, A. (2008). Evaluating greywater reuse potential for sustainable water resources management in Oman. New York: Springer Science.

- Jefferson, B., Palmer, A., Jeffrey, P., Stuetz, R., & Judd, S. (2004). Grey water characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. *Water Science and Technology*, 157–164.
- L. Hernández-Leal, H. Temmink, G. Zeeman, C.J.N. Buisman, Removal of micropollutants from aerobically treated grey water via ozone and activated carbon, *Water Research* 45 (2011) 2887-2896.
- Li, F., Wichmann, K., & Otterpohl, R. (2009). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the Total Environment*
- Matos, C., Sampaio, A., & Bentes, I. (2012). Greywater Use in Irrigation: Characteristics, Advantages and Concerns. *Irrigation - Water Management, Pollution and Alternative Strategies.*, 159 - 184.
- McGettigan, J; Stinson B. y Wilson, T. (2009). Tertiary Denitrifying MBBRs: The Right Choice? *Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC 2009: Session 11 through Session 20*, 446-457.
- March, J., Gual, M., & Orozco, F. (2004). Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel (Mallorca Island, Spain). *Desalination*.
- Metcalf y Eddy, Revisado por Tchobanoglous y Burton (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales: tratamiento, vertido y reutilización (1º Edición)*. Madrid: McGraw-Hill.
- Ministerio del Ambiente (2009). Disposición para implementación de los ECA para agua. Decreto Supremo N°023-2009-MINAM.
- Ministerio del Ambiente (2015). Disposición para implementación de los ECA para agua. Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.
- Ministerio del Ambiente (2008). Disposición para implementación de los ECA para agua. Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006). Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). II.3 OBRAS DE SANEAMIENTO OS. 100, IS. 010, OS. 090.
- Niño Rodríguez, E. D. y Martínez Medina, N. C. (2013). *Estudio de las aguas grises domesticas en tres niveles socioeconómicos de la ciudad de Bogotá*. (Tesis de grado). Facultad de ingeniería. Pontificia Universidad Javeriana.
- Monks, K. (1 de Mayo de 2014). ¿Beberemos pronto agua del inodoro? *CNN en Español*. Recuperado de: <http://cnnespanol.cnn.com/2014/05/01/beberemos-pronto-agua-de-inodoro/>
- Morel, A., & Diener, S. (2006). *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of different treatment systems for households or*

neighbourhoods. Dübendorf, Switzerland.: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag).

Nolasco, D. Platzer, C. & Ortega, E. (10 de Marzo de 2016). Tecnologías Innovadoras para el Tratamiento y Reúso de Aguas residuales. Sistematización de la IV Conferencia Latinoamericana de Saneamiento – LATINOSAN PERÚ 2016.

OMS – Organización Mundial de la Salud. (1990). Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura. Ginebra, Suiza.

OEFA - Organismo de evaluación y fiscalización ambiental. (2014). *La fiscalización ambiental en aguas residuales*. Recuperado de: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

Odegaard. H et al., (1994). A New Moving Bed Biofilm Reactor-Applications and Results. *Water Science and Technology*. Vol.29 No.10-11 p.157-165.

PNUD, (2006). Informe sobre desarrollo humano 2006. España, Barcelona.: Editorial Aedos, s.a.

Palma Carazo, I. J., Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje

PINXIANG NANXIANG, (2015). Recuperado de: https://www.alibaba.com/product-detail/MBBR-Biofilm-carrier-Kaldne-MBBR-bio_60426173016.html

Prabir Sarkar, Bhaanuj Sharma, Ural Malik, Energy generation from grey water in high raised buildings: The case of India, IRAN, *Renewable Energy* 69 (2014)

Rojas-Higuera, N., Sánchez-Garibello, A., Matiz-Villamil, A., Salcedo Reyes, J., Carrascal-Camacho, A., Pedroza-Rodríguez, A. (2010). Evaluación de tres métodos para la inactivación de coliformes y *Escherichia coli* presentes en agua residual doméstica, empleada para riego. Facultad de Ciencias. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, D.C. Colombia.

Sabatini bombas & mecanizados, (2012). Recuperado de: <http://www.sabatinibombas.com.ar/index.php/es/presurizacion>

San Pedro de Latarce, (s.f.). Recuperado de: <http://www.sanpedrodelatarce.com/planos.html>

Sin Fronteras. (2017). Tacna tiene un déficit hídrico de 246 litros de agua por segundo. Perú, Tacna. Recuperado de: <http://www.diariosinfronteras.pe/2017/01/14/tacna-tiene-deficit-de-246-litros-de-agua-por-segundo/>

SUNASS - Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2008). Diagnóstico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas

Residuales en las EPS del Perú y Propuestas de Solución. Perú: Biblioteca Nacional del Perú.

Suárez, E. (15 de Septiembre de 2014). Falta de agua potable es el mayor problema a resolver en Tacna. *El Comercio*. Recuperado de:

<http://elcomercio.pe/peru/tacna/falta-agua-potable-mayor-problema-resolver-tacna-363713>

Tjandraatmadja, G., & Diaper, C. (2006). Sources of critical contaminants in domestic wastewater - a literature review. CSIRO: Water for a Healthy Country National Research Flagship.

Tecno Converting Engineering, (s.f.). Recuperado de:

<http://www.tecnoconverting.com/>

Trébol Química S.L, (s.f.). Recuperado de: [http://trebolquimica.com/?tag=ensayos-](http://trebolquimica.com/?tag=ensayos-de-floculacion)

[de-floculacion](http://trebolquimica.com/?tag=ensayos-de-floculacion)

Wuertz,S.,Bishop,P. y Wilderd,P.(2003). Biofilms in Wastewater. Treatment.An interdisciplinary Approach.IWA.Publishing UK.

ANEXOS

**1) PARAMETROS EN LOS ESTANDARES DE CALIDAD, RIEGO
RESTRINGIDO**

2) ESTRUCTURA TARIFARIA DE LA EPS TACNA S.A ACTUALIZADO

3) CALIDAD DEL EFLUENTE

4) PRESUPUESTO DE LOS SUMINISTROS E INSTALACION DEL SISTEMA DE RECICLADO

**5) INSTALACION, MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DEL EQUIPO
HIDRONEUMATICO – HIDROSTAL**

6) PLANO DE LA RED DE CAPTACIÓN DE LAS AGUAS GRISES EN EL EDIFICIO

7) PLANO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL AGUA TRATADA EN EL EDIFICIO

**8) PLANO DE LA PLANTA MODULAR DE TRATAMIENTO DE AGUAS
GRISES**