

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL: DE INGENIERÍA CIVIL**



**Tesis**

**Eficiencia del prototipo propuesto del sistema tratamiento hidráulico en la  
reutilización de aguas grises en el centro comercial galerías Apurímac en el sector de**

**Abancay, 2023**

Asesor:

Mg. Sc. Maldonado Mendivil, Ángel

Autor:

Perez Ayma, Elaine

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Abancay - Apurímac - Perú

2025



# Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas



FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 032

En la ciudad de Abancay año 2025 en el mes de marzo día viernes del 07 siendo las 11:00 de la mañana, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0224-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 25 de febrero del 2025, de la Escuela Profesional de Facultad de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Dra. Vera Teves, Rosa Marina
Dictaminante:	Ing. Espinoza Asto, Edwin Reynaldo
Replicante :	Ing. Silva Noriega, Fanny

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis       Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Eficiencia del prototipo propuesto del sistema tratamiento hidráulico en la reutilización de aguas grises en el centro comercial galerías Apurimac en el sector de Abancay, 2023

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

**Br: Perez Ayma, Elaine**

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

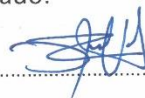
Por: Unanimidad  
(Unanimidad o Mayoría) (\*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
<b>Perez Ayma, Elaine</b>	<b>Aprobado</b>

Siendo las 12:31 del mediodía concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Dra. Vera Teves, Rosa Marina

(.....)

Dictaminante: Ing. Espinoza Asto, Edwin Reynaldo

(.....)

Replicante: Ing. Silva Noriega, Fanny

(.....)

Abancay 08 de marzo del 2025

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 334.

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**  
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321559  
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251565  
Filial Andahuaylas, Av. Juan Antonio Trelles N° 513 Teléfono (083) 421752  
[www.utea.edu.pe](http://www.utea.edu.pe)

(\*) Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.  
(\*\*) 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.




# 24% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

## Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

## Fuentes principales

- 21%  Fuentes de Internet
- 9%  Publicaciones
- 19%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

## Metadatos

<b>Datos del autor</b>		
Apellido y Nombre	:	Perez Ayma Elaine
Tipo de documento de Identidad	:	DNI
Numero de documento de Identidad	:	76032556
URL ORCID	:	<a href="https://orcid.org/0009-0001-8602-6548">https://orcid.org/0009-0001-8602-6548</a>
<b>Datos del Asesor</b>		
Apellido y Nombre	:	Maldonado Mendivil Ángel
Tipo de documento de Identidad	:	DNI
Numero de documento de Identidad	:	06788424
URL ORCID	:	<a href="https://orcid.org/0000-0001-9002-1910">https://orcid.org/0000-0001-9002-1910</a>
<b>Datos de la Investigación</b>		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería Civil
Línea de investigación	:	Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	:	2024
Fuente de financiamiento	:	Financiado por la Universidad Tecnológica de los Andes
Porcentaje de similitud	:	24%
URL de OCDE	:	<a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</a>

## **Dedicatoria**

A mi querida madre, por ser siempre mi apoyo y esperanza en todo transcurso de mi trayectoria personal, quien asumió la labor paternal con mucho cariño, honradez y valores.

A mi hermana Fanny y a mi papá que desde cielo nos cuida y nos guía cada paso que doy en mi vida y a mis siete hermanos, aquellos que contribuyeron a mi desarrollo tanto en el ámbito personal como en el profesional, dándome su amor, cariño y valores.

## **Agradecimiento**

Doy gracias al creador por la salud y la inteligencia en este camino de la vida, a mi madre Eugenia y mis hermanos y todos ustedes que fueron parte de mi aprendizaje: gracias. A mi asesor el Ingeniero Ángel Maldonado Mendivil, quien siempre estuvo apoyándome desde el primer día en este recorrido de la investigación, por su virtud de la paciencia y orientación durante la ejecución del proyecto. A mis amigos Diana, Yadira, Kevin que estuvieron en la ejecución de esta investigación.

A mi universidad, por darme esa oportunidad de desarrolla esta investigación y agradezco a todos los ingenieros de la escuela Profesional Ingeniería Civil por su enseñanzas, experiencias y sabiduría en mi desarrollo profesional.

## Resumen

El presente trabajo busca desarrollar un prototipo de sistema destinado al tratamiento y la reutilización de aguas grises en el centro comercial Galerías Apurímac, con el propósito de implementar en las construcciones la metodología de la práctica sostenible de reutilización en usos que no necesitan mucho control (baños, riego y limpieza de calles) que permita optimizar el consumo de agua y reducir la incidencia de obturaciones en las redes de tuberías. Para lograr el objetivo se tuvo que investigar el área de estudio (la galería y que actividades se desempeña), verificar teorías de diseño por otros autores (procesos de tratamiento y similitud hidráulica) y normativas. Los resultados obtenidos del sistema de tratamiento hidráulico, tiene una eficiencia promedio de los parámetros físicos -químicos de remoción durante los cuatro días que se evaluó, se tuvo DBO<sub>5</sub> a un 98.62%, DQO a un 96.63%, aceites y grasas a un 98.62%, sólidos sedimentales a un 99.96%, sólidos suspendidos totales a un 98.14% y nitrógeno amoniacal a un 48.82%; el caudal y tiempo de retención hidráulica mantiene una relación fundamental en el comportamiento del sistema de tratamiento hidráulico por lo que al configurar la válvula abierta a un 25% se consiguió un mejor funcionamiento de los procesos de tratamiento hidráulico del prototipo.

**Palabras claves:** eficiencia, sistema de tratamiento hidráulico, reutilización, aguas grises, similitud hidráulica

## **Abstract**

This work seeks to develop a prototype system for the treatment and reuse of greywater at the Galerías Apurímac shopping center. This will allow for the implementation of a sustainable reuse methodology for low-control uses (restrooms, irrigation, and street cleaning) in the buildings. This will optimize water consumption and reduce the incidence of blockages in the pipe networks. To achieve this objective, it was necessary to investigate the study area (the gallery and the activities it performs), verify design theories developed by other authors (treatment processes and hydraulic similarity), and verify regulations. The results obtained from the hydraulic treatment system, has an average efficiency of the physical-chemical removal parameters during the four days that it was evaluated, it had BOD5 at 98.62%, COD at 96.63%, oils and fats at 98.62%, sedimentary solids at 99.96%, total suspended solids at 98.14% and ammoniacal nitrogen at 48.82%,; the flow rate and hydraulic retention time maintain a fundamental relationship in the behavior of the hydraulic treatment system, so that by configuring the open valve at 25%, a better operation of the hydraulic treatment processes of the prototype was achieved.

**Keywords:** efficiency, hydraulic treatment system, reuse, gray water, hydraulic similarity

## Índice general

<b>Portada.....</b>	<b>i</b>
<b>Acta de sustentación .....</b>	<b>ii</b>
<b>Reporte de similitud .....</b>	<b>iii</b>
<b>Metadatos .....</b>	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria .....</b>	<b>v</b>
<b>Agradecimiento .....</b>	<b>vi</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>vii</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>viii</b>
<b>Índice general .....</b>	<b>ix</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>xii</b>
<b>Índice de figuras.....</b>	<b>xiv</b>
<b>Índice de anexos .....</b>	<b>xvi</b>
<b>I Introducción .....</b>	<b>17</b>
<b>II Planteamiento del problema .....</b>	<b>19</b>
2.1 Descripción y formulación del problema .....	19
2.2 Objetivos.....	21
2.2.1 Objetivo General .....	21
2.2.2 Objetivo Específicos.....	21
2.3 Justificación e importancia .....	21
2.4 Hipótesis .....	22
2.5 Variables.....	22

<b>III Marco teórico .....</b>	<b>25</b>
3.1 Antecedentes de investigación.....	25
3.2 Bases teóricas .....	33
3.2.1 Recuperación y reutilización de aguas .....	33
3.2.2 Sistema tratamiento hidráulico .....	34
3.2.3 Tipos de tratamiento hidráulico .....	34
3.2.4 Aguas grises.....	38
3.2.5 Valores máximos admisibles .....	40
3.2.6 Diseño conceptual de procesos .....	41
3.2.6.1 Trampa de grasa.....	42
3.2.6.2 Microburbujas.....	44
3.2.6.3 Filtración multigranular .....	47
3.2.7 Similitud hidráulica .....	50
3.3 Definición de términos .....	54
<b>IV Metodología .....</b>	<b>58</b>
4.1. Tipo y nivel de investigación .....	58
4.2. Ámbito temporal y espacial.....	59
4.3. Población y muestreo .....	60
4.4. Instrumentos .....	62
4.5. Procedimiento.....	64
4.6. Análisis de datos.....	68
4.7. Consideraciones éticas.....	68

<b>V</b>	<b>Resultado y Discusion.....</b>	<b>69</b>
5.1	Resultados.....	69
5.1.1.	Respuesta al objetivo específico 1 .....	69
5.1.2.	Respuesta al objetivo específico 2 .....	82
5.1.3.	Respuesta al objetivo específico 3 .....	92
5.1.4.	Respuesta al objetivo general .....	100
5.2	Discusión de resultados .....	101
5.3	Prueba de hipótesis .....	105
5.3.1.	Hipótesis específica 1 .....	105
5.3.2.	Hipótesis específica 2 .....	107
5.3.3.	Hipótesis general .....	108
<b>VI</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>109</b>
<b>VII</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>111</b>
<b>VIII</b>	<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>112</b>
<b>IX</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>122</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de variables .....	24
<b>Tabla 2</b> Características de aguas grises de salones de belleza.....	40
<b>Tabla 3</b> Valores máximos admisibles .....	40
<b>Tabla 4</b> Unidades de gasto de cada aparato sanitario .....	42
<b>Tabla 5</b> Comparación de la distribución de difusores .....	45
<b>Tabla 6</b> Clasificación de filtros.....	48
<b>Tabla 7</b> Granulometría y altura de capas de filtro .....	49
<b>Tabla 8</b> Ecuaciones de escala de similitud geométrica.....	51
<b>Tabla 9</b> Ecuaciones de escala de similitud cinemática .....	52
<b>Tabla 10</b> Ecuaciones de escala de numero de Froude .....	53
<b>Tabla 11</b> Operación día de muestreo .....	62
<b>Tabla 12</b> Instrumentos empleados en la investigación .....	63
<b>Tabla 13</b> Parámetros aplicados en la investigación .....	67
<b>Tabla 14</b> Dotación de agua para locales comerciales .....	70
<b>Tabla 15</b> Dotación de agua para salones de belleza .....	71
<b>Tabla 16</b> Disponibilidad de agua gris .....	72
<b>Tabla 17</b> Demanda de agua gris.....	72
<b>Tabla 18</b> Cantidad disponible y demanda de agua grises .....	73
<b>Tabla 19</b> Distribución de la capa de filtro .....	77
<b>Tabla 20</b> Escala de longitudes del modelo .....	79
<b>Tabla 21</b> Escala de volumen del modelo .....	79
<b>Tabla 22</b> Escala de diámetro tubería del modelo.....	80
<b>Tabla 23</b> Escala de ángulo de la pendiente del modelo .....	80
<b>Tabla 24</b> Escala de la potencia de la bomba de aire .....	81

<b>Tabla 25</b>	Remoción del aceites y grasas .....	82
<b>Tabla 26</b>	Remoción del demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).....	84
<b>Tabla 27</b>	Remoción de la demanda química de oxígeno (DQO).....	85
<b>Tabla 28</b>	Remoción del nitrógeno amoniacal .....	86
<b>Tabla 29</b>	Remoción del solidos sedimentales.....	88
<b>Tabla 30</b>	Remoción de los sólidos suspendidos totales .....	89
<b>Tabla 31</b>	Variación del potencial hidrogeno (pH) .....	90
<b>Tabla 32</b>	Remoción del temperatura (°C).....	92
<b>Tabla 33</b>	Muestra N°01: válvula abierta al 100% .....	93
<b>Tabla 34</b>	Muestra N°02: válvula abierta 75% .....	95
<b>Tabla 35</b>	Muestra N°03 - válvula abierta: 50% .....	96
<b>Tabla 36</b>	Muestra N°04 - válvula abierta: 25% .....	98
<b>Tabla 37</b>	Eficiencia del prototipo del sistema de tratamiento hidráulico .....	100
<b>Tabla 38</b>	Resultado de la evaluación de hipótesis 1 (remoción de los parámetros físico – químicos) .....	105
<b>Tabla 39</b>	Resultado de la evaluación de hipótesis 2 (caudal y tiempo de retención hidráulica).....	107
<b>Tabla 40</b>	Resultado de la evaluación de hipótesis general (eficiencia) .....	108

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Sistemas sin tratamiento.....	35
<b>Figura 2</b> Sistemas con tratamiento .....	35
<b>Figura 3</b> Sistemas de tratamiento físicos .....	36
<b>Figura 4</b> Sistemas físico-químicos .....	37
<b>Figura 5</b> Sistemas biológicos.....	38
<b>Figura 6</b> Trampa de grasa simple .....	43
<b>Figura 7</b> Comportamiento de superficie específica.....	45
<b>Figura 8</b> Gráfico de la relación SOTE y altura de agua .....	46
<b>Figura 9</b> Similitud Geométrica .....	51
<b>Figura 10</b> Similitud cinemática .....	52
<b>Figura 11</b> Ubicación de la centro comercial galerías Apurímac. ....	61
<b>Figura 12</b> Prototipo de sistema de tratamiento hidráulico.....	61
<b>Figura 13</b> Diagrama de flujo de la investigación .....	65
<b>Figura 14</b> Método volumétrico.....	66
<b>Figura 15</b> Diagrama de procesos para la reutilización .....	73
<b>Figura 16</b> Análisis comparativo de la remoción aceites y grasa con los valores del reglamento (VMA y LMP).....	83
<b>Figura 17</b> Análisis comparativo de la remoción DBO5 con los valores del reglamento (VMA y LMP).....	84
<b>Figura 18</b> Análisis comparativo de la remoción DQO con los valores del reglamento (VMA y LMP).....	86
<b>Figura 19</b> Análisis comparativo de la remoción nitrógeno amoniacal con los valores del reglamento (VMA y LMP).....	87

<b>Figura 20</b> Análisis comparativo de la remoción solidos sedimentales con los valores del reglamento (VMA y LMP).....	88
<b>Figura 21</b> Análisis comparativo de la remoción solidos suspendidos totales con los valores del reglamento (VMA y LMP).....	89
<b>Figura 22</b> Análisis comparativo del pH con los valores del reglamento (VMA y LMP)..	91
<b>Figura 23</b> Análisis comparativo de la remoción °C con los valores del reglamento (VMA y LMP).....	92
<b>Figura 24</b> Operación de muestra N°01 del prototipo al 100% de la válvula abierta.....	94
<b>Figura 25</b> Operación de muestra N°02 del prototipo al 75% de la válvula abierta.....	95
<b>Figura 26</b> Operación de muestra N°03 del prototipo al 50% de la válvula abierta.....	97
<b>Figura 27</b> Operación de muestra N°04 del prototipo al 25% de la válvula abierta.....	98
<b>Figura 28</b> Comportamiento de la cámara de filtración.....	99
<b>Figura 29</b> Comportamiento de la trampa de grasa.....	99
<b>Figura 30</b> Análisis comparativo eficiencia de los parámetros físico - químicos por día de muestra .....	101

## Índice de anexos

<b>Anexo 1</b> Matriz de consistencia .....	123
<b>Anexo 2</b> Operacionalización de variables .....	124
<b>Anexo 3</b> Plano del prototipo propuesto de sistema de tratamiento .....	125
<b>Anexo 4</b> Instrumento de registro de datos del prototipo del sistema de tratamiento hidráulico .....	126
<b>Anexo 5</b> Registro de datos del levantamiento de muestras de evaluación del prototipo.	127
<b>Anexo 6</b> Informe de los resultados de la evaluación de ingreso y salida del prototipo enviados al laboratorio acreditado LOUIS PASTEUR .....	131
<b>Anexo 7</b> Cadena de custodia de envío de las muestras al laboratorio.....	147
<b>Anexo 8</b> Factura del pago del laboratorio acreditado LOUIS PASTEUR .....	151
<b>Anexo 9</b> Recolección de muestra .....	152
<b>Anexo 10</b> Construcción del prototipo del sistema de tratamiento hidráulico .....	152
<b>Anexo 11</b> Funcionamiento del prototipo del sistema de tratamiento hidráulico.....	153
<b>Anexo 12</b> Muestro de los parámetros físico -químicos .....	154
<b>Anexo 13</b> Validación de instrumento .....	156

## **I Introducción**

En un contexto global caracterizado como consecuencia de la progresiva escasez de agua y la deficiente administración de la misma, sea optando en plantear una gestión eficiente y sostenible del agua, esta se convertido en un imperativo esencial velando por el bienestar de las generaciones presentes y las que están por venir. La reutilización de aguas grises es una solución innovadora y factible para bajar el gasto de agua potable y atenuar las consecuencias ambientales derivadas con el desperdicio de este recurso vital.

La finalidad primordial de esta investigación es establecer la eficiencia del prototipo propuesto del proceso de acondicionamiento de aguas grises para su reaprovechamiento, se centró en estudiar las consideraciones de diseño (disponibilidad y demanda) guiándonos norma IS 0.10 y otra investigaciones, el diagrama de procesos, el diseño de la unidad de procesamiento de agua, compuesta por un separador de grasa, un reactor de microburbujas y un lecho filtrante granular, la distribución de lecho filtrante(arena, carbón activado y zeolita), los parámetros físico - químicos a ser evaluados y la teoría de similitud; busca comprobar la eficacia del sistema para hacer más eficiente la gestión del agua y reducir su consumo dentro de las instalaciones del centro comercial, promoviendo prácticas sostenibles y responsables en el uso del agua,

La investigación se basó en la instalación y monitoreo de un prototipo de tratamiento hidráulico diseñado. Se recolectarán y analizarán datos sobre la calidad del agua una vez procesada y su potencial para ser empleada en fines distintos al consumo humano.

Además, los resultados obtenidos podrían servir como referencia para futuras implementaciones en otras regiones con características similares. La investigación también aportará nuevas alternativas de innovación sostenible en el manejo del servicio de abastecimiento de agua potable en diferentes contextos, incluyendo centros comerciales,

hoteles, colegios y otros organismos de carácter público y de carácter privado en el núcleo urbano en la ciudad de Abancay.

Adicionalmente, esta investigación servirá como fuente de información para otros estudios y proyectos que busquen planificar y considerar la puesta en marcha de infraestructuras destinadas al tratamiento de aguas grises a nivel de micro redes de instalaciones sanitarias. De esta manera, se contribuirá al desarrollo de estrategias más eficientes y sostenibles para la gestión del agua, promoviendo una mayor conciencia y responsabilidad en el uso de este recurso vital.

La estructura de este documento se ha estructurado de la siguiente forma: inicialmente, se lleva a cabo una exploración profunda de la bibliografía sobre la reutilización de aguas grises, y las tecnologías de tratamiento existentes. Seguidamente, se presenta un desglose exhaustivo de la metodología que guió el desarrollo de este trabajo de investigación y evaluación del prototipo propuesto. Posteriormente, se discuten los resultados obtenidos y se analiza su implicancia en el contexto del Centro comercial galerías Apurímac. El estudio culmina con la presentación de las conclusiones y el planteamiento de recomendaciones para futuras líneas de investigación y su implementación práctica.

## **II Planteamiento del problema**

### **2.1 Descripción y formulación del problema**

#### **Descripción**

El desequilibrio del ciclo hidrológico por la contaminación procedentes de productos cosméticos, farmacéuticos, industriales, alcantarillado y etc., ha deteriorado a escala mundial, la problemática de la calidad del agua ha adquirido una importancia considerable a causa de incremento poblacional, según la ONU (2014), en su pagina menciona que diariamente, se vierten aproximadamente dos millones de toneladas de desechos líquidos y otros vertidos en los cuerpos de agua globales, esto implica en tomar conciencia e innovar tecnologías para el adecuado manejo del recurso hídrico.

En el Perú, según el MINAM (2019) en su informe de la situación ambiental nacional para el quinquenio 2014-2019 muestran los principales indicadores que se deben trabajar sobre los objetivos de desarrollo sostenible y la política nacional del ambiente al 2030, con respecto a la temática del agua el año 2019 se vertió 262 696 865 m<sup>3</sup> de agua residual domestica sin ningún tratamiento, sin embargo, dentro de este indicador se encontraría la disposición de aguas servidas provenientes de los diferentes centro comerciales, en cuanto al vertimiento de la evacuación permitida de aguas contaminadas industriales, en función de la actividad económica es de un volumen de 192 millones de m<sup>3</sup>; este rango de cantidad con tratamiento es inferior al 30% en comparación con la cantidad de efluentes generados por actividades residenciales y del sector industria.

Así mismo, mencionar la problemática de la infraestructura y operación de saneamiento en el territorio apurimeño, según SUNASS (2022), en su documento que establece las áreas de operación de los servicios en el departamento de Apurímac, en la fase de vinculo y dinamicas de territoriales el 3% se comparte la red de desagüe dentro del área urbana y un 20% de las cuencas de aporte en el ambito rural, es asi que las empresas

prestadora (servicio de saneamiento) y no empresa prestadoras a nivel regional mantiene una cobertura del acceso a la dotación de agua apta para el consumo es de 96.9% y en cuanto al suministro de alcantarillado el 64%, este vertimiento de aguas residuales a su vez deden entrar a un tratamiento, de las 13 unidades de tratamiento de efluentes localizadas en las pequeñas ciudades solo 4 están operativas la de Huancarama, Chalhuanca, Tambobamba y Haqira, así mismo las dos EPS (EMUSAP Abancay y Andahuaylas) de mayor demanda en prestar servicio, solo la ciudad de Abancay cuenta con un PTAR que está en proceso de prueba y pasará a manos de EPS EMUSAP de Abancay, en cuanto al de Andahuaylas no existe un PTAR por lo que la microcuenca del río Chumbao es el más afectado con la contaminación de las aguas residuales, en ese sentido observamos un gran problema a nivel regional sobre la gestión de depuración de aguas de desecho, y carecen de capacidad para los procedimientos de incorporación en el servicio de tratamientos y de la inversión orientada a mejorar las condiciones de prestación.

### **Formulación del problema de investigación**

La presente investigación contribuirá en minimizar y de generar una cultura de reuso del agua, por lo que según va incrementando el crecimiento poblacional paralelamente van aumentando las necesidades del ser humano, según (SUNASS, 2022) menciona el uso y aprovechamiento del agua el 63.3% lo utiliza comerciantes (restaurantes, fábricas, galerías, hoteles, quintas y otros) y 30.1% de las instituciones públicas en la ciudad de Abancay, es así como observamos estos porcentajes de consumo de agua de como incrementado las necesidades del comercio, a partir de ello esta investigación optó por un centro comercial con mayor incidencia en consumo de agua y contaminación, por lo se propondrá un prototipo de tratamiento en la reutilización de agua grises en el centro comercial Galerías Apurímac para así mitigar dentro de las micro redes antes de ser vertidas al alcantarillado y se contaminen con las aguas negras.

## **2.2 Objetivos**

### **2.2.1 *Objetivo General***

- Determinar la eficiencia del prototipo propuesto del sistema tratamiento hidráulico de la reutilización de aguas grises en el centro comercial galerías Apurímac en el sector de Abancay, 2023

### **2.2.2 *Objetivo Específicos***

- Dimensionar el diseño del prototipo propuesto del sistema tratamiento hidráulico en la reutilización de aguas grises en el Apurímac.
- Indicar las características físico –químicas de las aguas grises en la remoción con el prototipo del sistema tratamiento hidráulico para su reutilización de aguas grises en el Apurímac
- Determinar el caudal y el tiempo de retención hidráulica en el prototipo propuesto para reutilización de aguas grises en el Apurímac.

## **2.3 Justificación e importancia**

Habiendo sustentado la realidad de los desafíos que afectan al mundo, al país, a la región y de la misma localidad de Abancay en la mala gestión de saneamiento de las empresas que brindan el servicio de agua potable y red de alcantarillado, y la ciudadanía; esta investigación plantea disminuir el consumo de agua dentro de las redes de instalaciones sanitarias domiciliarias y/o comercio, antes del llegado a evacuar hacia la alcantarilla pública.

Frente al entorno actual de mal uso del agua potable la presente investigación se centrará en la propuesta de un prototipo (un modelo de tratamiento) para la reutilización de aguas grises en Apurímac provenientes de los lavaderos de cabello de los salones de belleza, se determinó el volumen de demanda de aguas grises que satisfagan a las unidades de gasto

de los inodoros y lavadero de limpieza propuesto. Permitirá dar nuevas alternativas de innovación sostenible en fortalecer la gestión del servicio de agua potable en diferentes lugares como privadas y públicas (centro comercial, hoteles, colegios y etc.) en la ciudad de Abancay

Por otra parte, esta investigación servirá de fuente para otras investigaciones y proyectos que permitirá planificar y considerar una nueva implementación del sistema de tratamiento de aguas grises a nivel de micro redes de instalaciones sanitarias.

## **2.4 Hipótesis**

### **2.4.1 Hipótesis general**

- El prototipo propuesto del sistema tratamiento hidráulico es eficiente en la reutilización de aguas grises en el Apurímac.

### **2.4.2 Hipótesis específicas**

- La remoción de los parámetros físico –químicas tienen efecto en el prototipo propuesto del sistema tratamiento hidráulico de la reutilización de aguas grises en el centro comercial
- El caudal y el tiempo de retención hidráulica influye en el prototipo del sistema de tratamiento hidráulico en la reutilización de aguas grises en el centro comercial

## **2.5 Variables**

### **Variable independiente:**

Prototipo propuesto del sistema de tratamiento hidráulico

### **Variable dependiente:**

Reutilización de aguas crisis

**Tabla 1***Operacionalización de variables*

**Título: Eficiencia del prototipo propuesto del sistema de tratamiento hidráulico en la reutilización de aguas grises en el Centro Comercial Galerías Apurímac en el sector de Abancay, 2023**

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Unidad	Instrumento
<b>Variable independiente:</b> Prototipo propuesto del sistema de tratamiento hidráulico	Según Verdines y Campbell (2013), sostiene que el prototipo de reutilización de aguas grises permite concentrar las cargas contaminantes, lo que influye en la elección de los procesos de tratamiento necesarios para alcanzar el nivel de purificación requerido.	Se diseñará un prototipo de tratamiento hidráulico al utilizar la similitud hidráulica a una escala determinada permitirá realizar el estudio del caudal, tiempo retención hidráulica y remoción de los parámetros físicos dando la eficiencia del prototipo.	Diseño	Demanda de agua grises a reutilizar Caudal Diámetros de tuberías Sistemas de filtros Similitud hidráulica	Razón	m	Norma IS.010 Guías de diseño Escalímetro (Anexo N°09 al 12)
			Caudal Tiempo de retención hidráulico	Variación de la válvula: Valvular abierta al 100% Valvular abierta al 75% Válvula abierta al 50% Válvula abierta al 25%	Razón	L/s	Observación directa Ficha de registro de datos (Anexo N°04 y 05)
<b>Variable dependiente:</b> Reutilización de aguas crisis	Según Rojas (2004), afirma que las aguas grises, provenientes de duchas, bañeras y lavamanos, tienen menor carga microbiológica y contaminación, por lo que pueden ser reutilizadas.	Mediante los resultados de laboratorio de las propiedades físico – químicas se determine la remoción.	Remoción	Propiedades físicas - químicas	Razón	%	Análisis de laboratorio (Anexo N°06 y 07)

Nota: Elaboración propia

### **III Marco teórico**

#### **3.1 Antecedentes de investigación**

##### **A nivel internacional**

Díaz et al (2021), en su artículo presenta un método para implementar el reciclaje de aguas grises en hogares situados en zonas de Chile con escasez hídrica, tanto moderada como severa. Se subraya la importancia de valorizar las aguas residuales no sanitarias para destinarlas al riego y a las cisternas de los inodoros, dada la crisis climática y el aumento de la población. Se analizaron diversas tecnologías de tratamiento, como tanques sépticos, filtros, biofiltros, UASB y MBRe, junto con métodos de desinfección como la cloración y la luz ultravioleta. Se dio especial atención a los humedales construidos y otros sistemas naturales como alternativas prácticas. Basándose en el análisis de la calidad de las aguas grises, los requisitos para su uso no potable y un cálculo de dimensionamiento ajustado a los consumos y tipos de vivienda, se creó un sistema de selección de tecnologías de tratamiento económicas. Este sistema asegura que las aguas tratadas sean aptas para riego y para la descarga de inodoros, tomando en cuenta tanto normativas globales como las condiciones específicas de Chile. Se da prioridad a los tratamientos biológicos y a la desinfección, enfocándose en adaptar estas soluciones a entornos tanto urbanos como rurales.

Pichiya Umul (2023), en su artículo explica la evaluación sobre la eficacia de un sistema doméstico de tratamiento de aguas grises, el cual se basa en un conjunto de filtros y toma como modelo el Barrel-System de Jordania. La particularidad de este sistema radica en su adaptación con materiales de bajo costo y de origen reciclado. Mediante el análisis de aguas grises procedentes de lavadoras y lavavajillas, se determinaron indicadores como la DBO5, DQO, sólidos suspendidos totales, fósforo total y pH, comparando los valores antes y después del tratamiento. Se observaron reducciones significativas en la DBO5 (54%), DQO (48%), sólidos sedimentables y en el contenido de fósforo total, además de una

marcada disminución del pH. El estudio, que empleó un diseño experimental riguroso y análisis estadístico con un 95% de confianza, respalda la viabilidad del Barrel-System modificado como una alternativa para el tratamiento y la reutilización de aguas grises a nivel residencial. Esto representa un avance importante para la conservación de los recursos hídricos y la mitigación de la carga contaminante en las aguas residuales.

Visbal y Rozo (2018), en su artículo detalla la concepción de un sistema de filtración compuesta, empleando arena y carbón activado en un esquema de operación continua, con enfoque en evaluación de conceptos de filtración y adsorción, y viabilidad económica. El diseño utiliza dos filtros en paralelo para evaluar cuál ofrece mayor purificación y permita describa dimensiones del lecho filtrante, caudales de operación y especificaciones técnicas para la construcción de los filtros, y observar la combinación de filtración física (arena) y adsorción química (carbón activado) para eliminar turbidez, color y contaminantes. En cuanto, las ventajas de los filtros lentos de arena (simplicidad, no requieren químicos, mejoras en calidad física/química/bacteriológica) y sus posibles desventajas (pretratamiento, mantenimiento, temperatura); en conclusión, se propone un sistema de filtración continua de arena y carbón activado, así como parámetros de calidad del agua (pH, DQO, DBO5, turbidez, color, etc.) como herramienta pedagógica en un laboratorio universitario.

Walle et al (2023), en su artículo toca la resiliencia ante el cambio climático, la urbanización y el crecimiento demográfico exige enfoques de gestión del agua que sean localmente pertinentes y sostenibles. En este sentido, el artículo examina la reutilización de aguas grises como un recurso fundamental para descentralizar el tratamiento de aguas residuales, reducir los costos de transporte y mejorar la eficiencia del reúso a escala doméstica. Se proponen diversas tecnologías biológicas y físico-químicas (incluyendo MBR, RBC, filtración, adsorción y desinfección UV) que permiten obtener efluentes aptos para su reutilización. Se hace hincapié en la necesidad de soluciones modulares, monitoreo

continuo y marcos legales adecuados. Asimismo, se abordan los retos inherentes, como la variabilidad en la calidad de las aguas grises, las barreras regulatorias, la aceptación por parte de los usuarios y la evaluación de la sostenibilidad energética y ambiental mediante análisis de ciclo de vida.

Díaz y Ramírez (2016) en su trabajo de investigación busco reducir lavado de ropas ya que es una actividad muy cotidiana en los hogares de Bogotá D.C se decidió desarrollar un sistema de tratamiento y reutilización de aguas grises para hogares con lavadoras, con el fin de implementar dicho sistema, consumiendo de manera significativa agua potable no reutilizable, afectando directamente la fuente de agua. y por tanto los ecosistemas a su paso. Las casas inicialmente tenían un consumo de un 34% del agua potable en uso de lavadora, al innovar con este sistema de tratamiento propuesto se ahorraron en un 25.5% de consumo de agua en las viviendas de Bogotá D.C. Las aguas grises tratada en este sistema propuesto se llevaron al laboratorio para examinar que cuenten con los parámetros establecidos por la normativa de uso doméstico como lavandería, uso de agua en el baño, lavado de pisos, vehículos y riego de jardines.

Khanam y Patidar (2022), en este artículo, se exploró las particularidades cuantitativas y cualitativas de las aguas grises, considerando tanto países desarrollados como en desarrollo. Las aguas se agrupan según su nivel de contaminantes: baja (LGW), media (MGW), alta (HGW) y mixtas. Se investiga la influencia del desarrollo económico en la producción, composición y biodegradabilidad de estas aguas. La investigación concluye que las aguas grises mezcladas tienden a tener la mayor carga contaminante en ambos escenarios. Además, se identifica que la contaminación es generalmente más elevada en países en desarrollo, aunque se genere un menor volumen. La relación DQO/DBO, por su parte, apunta a una buena biodegradabilidad en la mayoría de los tipos de aguas grises, con la salvedad de las LGW de países en desarrollo y las aguas grises mixtas en países desarrollados.

Chinchilla (2016) en su publicación de su artículo, se sugiere la implementación de un pretratamiento (trampa de grasa) con el fin de examinar las grasas y aceites en las aguas residuales provenientes del comercio de cafetería en la facultad de Arquitectura. La meta de esta investigación es mitigar las elevadas concentraciones de DBO<sub>5</sub> y DQO, las cuales obstruyen las tuberías sanitarias y generan un incremento en los gastos de operación y mantenimiento. En consecuencia, se llevó a cabo una evaluación mediante un modelo estadístico de regresión múltiple, empleando el programa SPSS, obteniendo un R<sup>2</sup> entre la eficiencia de la trampa grasa en relación con la remoción de parámetros de diseño a un 55%; al extraer 30 muestras se determinó con un caudal promedio 2.28m<sup>3</sup> por día, aceite y grasa con un 94 mg/L, DBO<sub>5</sub> con un 1103mg/L, DQO con un 2109mg/L, sólidos suspendidos con un 276 mg/L y sólidos sedimentables con un 0.45 m<sup>3</sup>/L.

### **A nivel nacional**

Olivos y Toledo (2024), su trabajo explora la factibilidad y el modelo para implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas (aguas grises) en edificios de apartamentos ubicados en la costa de Perú. Se enfatiza cómo esta iniciativa se alinea con los principios del desarrollo sostenible, contribuye a disminuir el uso de agua potable y mejora la gestión de los recursos hídricos en áreas urbanas con alta densidad poblacional. La propuesta técnica incluye un biodigestor tipo Imhoff, una red de distribución y bombas para purificar las aguas grises y permitir su reutilización en cisternas de inodoros y para el riego de áreas verdes. Este sistema se integraría a la infraestructura actual sin requerir modificaciones mayores. El estudio también examina el uso de recursos como la energía, la rentabilidad económica (calculando el tiempo de recuperación de la inversión) y los beneficios ambientales, tales como el ahorro de agua y la disminución de descargas de aguas residuales. Los resultados del análisis de costos indican que, si bien la inversión inicial

es significativa, el período de retorno de la inversión se estima en alrededor de 40 años, lo que representa un obstáculo económico importante para su implementación a gran escala.

Flores (2020) en su tesis se midió la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales de origen industrial, obteniéndose los parámetros se tuvo sólidos sedimentales a un 34mg/l y con una eficiencia de 91.09%, pH a un 8.66, temperatura a un 9°C, DBO<sub>5</sub> a un 41.43mg/l con una eficiencia de 56.52%, DQO a un 1.133mg/l y con una eficiencia de 96.82%, aceites y grasa a un 4.03ppm, oxígeno disuelto a un 2.53ppm estas características de remoción de agua residuales cumplen los requerimientos establecidos en el DS N°021-2009-VIVIENDA, DS N°002-2008-VIVIENDA Y DS N° 002-2008-MINAN con los límites máximos permisibles en las norma mencionadas.

Ayquipa (2021), en su investigación se evalúa técnicamente un interceptor de grasa para el pretratamiento de aguas residuales grises en una vivienda unifamiliar en Lares, Cusco. Se implementó un diseño cuasi-experimental con un prototipo de vidrio y una unidad de concreto en sitio, empleando un enfoque cuantitativo para medir la influencia del caudal y el tiempo de retención hidráulica en la remoción de contaminantes clave: aceites y grasas, STS, DBO<sub>5</sub> y DQO. Los resultados evidencian una remoción sustancial de aceites y grasas y STS, así como mejoras significativas en DBO<sub>5</sub> y DQO conforme aumenta la eficiencia del sistema. Se identificó un caudal y un tiempo de retención hidráulica óptimos para la descontaminación del efluente doméstico. La hipótesis de que la trampa de grasa reduce la carga contaminante fue validada mediante análisis estadísticos (prueba T de Student para muestras relacionadas) con un 95% de confianza, tanto para el prototipo de vidrio como para la unidad de concreto.

Anaya et al, ( 2022) en su artículo su propósito principal de este estudio es presentar un diseño eficiente para el tratamiento ideal de aguas grises claras. El diseño propuesto introduce una separación de los sistemas de drenaje. Esto permite que las aguas grises

recolectadas en los sanitarios del quinto piso de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos sean tratadas directamente en el lugar. La investigación incluyó la recolección, medición, análisis y tratamiento de estas aguas grises, con un caudal promedio registrado de 26.12 litros por hora (equivalente a 2.00 metros cúbicos al día). Se realizaron mediciones en muestras individuales, determinando los siguientes parámetros in situ: Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) entre 21.5 y 23.0, pH (a  $20^{\circ}\text{C}$ ) entre 7.32 y 8.03, Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de 873 a 1083, y Turbiedad (NTU) de 295 a 305. En cuanto a las muestras compuestas, se analizaron y obtuvieron los siguientes resultados: Sólidos Suspendedos Totales (SSS) de 1:00 mL/L, Dureza Total de 389 mg/L, Alcalinidad Total de 136 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de 8 mg  $\text{O}_2/\text{L}$  y Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 163 mg  $\text{O}_2/\text{L}$ . Con el objetivo de reutilizar el agua para riego, se llevó a cabo una reducción de la DQO a escala de laboratorio. Esto se logró mediante filtración utilizando diversos medios, lo que resultó en una DQO final de 18 mg/L. Este valor representa una reducción del 89% y cumple con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua) destinados al riego.

Sotelo y Sotelo (2020), en tesis de Ingeniería Civil analiza la viabilidad y diseño de un sistema de reutilización de aguas grises en una vivienda multifamiliar ubicada en el sector Los Lunas, Ica que contempla un edificio de 4 pisos con 9 departamentos, áreas verdes y cochera para 6 autos. El estudio propone optimizar el consumo (demandas diarias y semanales de agua, identificando los flujos de aguas grises y potable, para dimensionar el sistema) de agua potable mediante tratamiento físico-químico de aguas grises para su reutilización en inodoros, limpieza y riego, evaluando aspectos técnicos, económicos (costos de inversión inicial y el ahorro económico en la tarifa de agua y alcantarillado, comparando con escenarios sin reciclaje) y éticos, y concluye que la solución puede generar un ahorro significativo de agua potable (aproximadamente 32%) y es viable desde la perspectiva

socioeconómica a largo plazo, considerando costos de inversión, tarifas de agua y beneficios ambientales.

Chavez y Mayhua (2019), en su investigación, se evidenció cómo un sistema específico contribuye a reducir el consumo indiscriminado de agua potable en las viviendas durante el proceso de urbanización. El estudio se llevó a cabo en el distrito de Pimentel, en Chiclayo, Lambayeque, se eligió como ejemplo típico un proyecto urbano de 12 hectáreas. Se ha estudiado el volumen de aguas grises captadas, producto de las actividades domésticas y el agua de lluvia, se combinaban con las aguas residuales y se esperaba tratar junta ellas. En consecuencia, el objetivo es determinar las diversas aplicaciones posibles para el agua reciclada, enfocándose en su uso para el riego de áreas verdes, la limpieza de superficies y la recarga de cisternas de inodoros. Con el fin de validar técnicamente una disminución en el gasto de agua potable, se llevaron a cabo cálculos para determinar las necesidades diarias de este recurso en actividades que no exigen su alta calidad. Los hallazgos del estudio posibilitan la formulación de un plan para reducir el costo del agua potable en los hogares en un 39%.

Diaz y Esquivel (2023), en su investigación diseñó un sistema para reutilizar aguas grises (lavabos y duchas) para riego de áreas verdes que genere para disminuir el consumo de agua potable de la población de la urbanización Santa Clara (134 casas, 536 habitantes); y la muestra en el bloque N (40 casas, 160 habitantes). Se estimaron los caudales diarios por persona (ducha y lavabo), proyección de demanda, comparación entre caudal existente (pozo) y demanda prevista. El sistema propuesto contempla una separación para las aguas de duchas y lavabos, e incluirá componentes clave como una trampa de grasa, cajas de registro, tuberías específicas para la conducción de aguas grises, una cisterna de almacenamiento, bombas de recalque, sistemas de filtración y una tubería de rebose. Los resultados de la implementación de este sistema para el riego de áreas verdes indican un

ahorro diario significativo de 6990L/día. El reservorio de 16.2 m<sup>3</sup> permitirá almacenar las aguas grises recolectadas, las cuales serán posteriormente filtradas y distribuidas a las zonas verdes, en estricto cumplimiento de la NTP IS 010. Adicionalmente, se analizó la viabilidad de un sistema de reutilización directa de aguas de lavamanos para la descarga de inodoros. Los hallazgos revelan que esta medida puede reducir el consumo de agua potable en un 51.31%, demostrando un impacto positivo notable en el ahorro de este recurso vital.

Zapata (2018), en tesis de investigación se centró en el diseño de un prototipo de sistema de tratamiento de aguas grises, cuya finalidad es su reutilización para el riego de áreas verdes en la Institución Educativa N°15509, Talara – Piura. El método utilizado es aplicado se evaluó el prototipo diseñado de un sistema de tratamiento que cuenta con una decantación, filtración y en su sistema de desinfección de Luz Uv, a través de encuestas, se evaluó el volumen de aguas residuales y se identificaron los contaminantes presentes en ellas, en cuanto a la eficiencia del prototipo se evaluó mediante la observación y control del proceso del sistema de tratamiento. Se concluyó que el prototipo propuesto es eficiente ya que los parámetros se redujeron y están dentro de parámetros regularizados para ser utilizados en riego; los parámetros físico-químicos experimentaron una reducción equivalente al 16.50%, de los sólidos totales redujo en un 49.40%, dureza en un 16.67%, el pH mantuvo en un 1.23%, el parámetro sensorial redujo en un 76.81%, Bacterias heterótrofas redujo en un 99.76%.

Herencia y Sandoval (2020), en su tesis analizó la eficiencia de un sistema de tratamiento de aguas grises para edificios multifamiliares, en un estudio realizado en el distrito de Comas, como parte de su tesis donde se observó una escasez hídrica, propone un sistema completo (recolección, tratamiento, distribución y evacuación) para aprovechar aguas grises en inodoros de un edificio de 700 habitantes. El diseño involucra trampas de grasa, cámara de paso, filtros (multimedia y carbón activado) y bombas, con volúmenes

calculados para cada componente (trampa de grasa: 23,00 m<sup>3</sup>; cámara de paso: 15,00 m<sup>3</sup>; cisterna tratada: 41,00 m<sup>3</sup>; cámara de desagüe: 4,70 m<sup>3</sup>), considerando normas IS 0.10 para aplicar cálculos detallados de caudales y descargas (Hunter) y datos de población y consumo local. Se logra estimar volúmenes, diámetros de tuberías, equipos de bombeo y filtración, e validar la viabilidad técnica, económica y social de la solución, obteniendo reducción de 30% en el consumo de agua potable y un ahorro estimado de 930 m<sup>3</sup>/mensuales para el edificio, al implementar el sistema. El estudio considera viabilidad técnica, económica y social, señalando la necesidad de mantenimiento periódico de trampas de grasa y evaluación de posibles ampliaciones (p. ej., áreas verdes o lavamopas) según calidad del agua tratada.

### **A nivel regional y local**

No existen investigaciones previas sobre la reutilización de aguas grises en las esferas regional y local.

## **3.2 Bases teóricas**

### **3.2.1 *Recuperación y reutilización de aguas***

Metcalf y Eddy (1995) en libro menciona como nace la reutilización de la evacuación de aguas residuales a primeros del siglo se vertía a cuencas y ríos, esta producía olores, acumulación de fangos y desagradables condiciones, para resolver se dividió la evacuación por aguas pluviales, aguas residuales, y se presentaron nuevos métodos procesos de tratamiento de aguas residuales de última generación y con mayor eficacia (p. 9).

Es obvio que debe cambiar la forma de ver el agua como un residuo a eliminar, mas bien como un recurso, se tomaran consciencia cuando muchos lugares el abastecimiento sea muy escasa, las plantas de tratamiento, según los diseños actuales, posibilitan la descarga del efluente tratado en el terreno circundante, su uso para el riego de campos de golf, como fluido de refrigeración en la industria y su reciclaje para múltiples usos; en el futuro se espera que gane importancia la reutilización de agua.

### **3.2.2 Sistema tratamiento hidráulico**

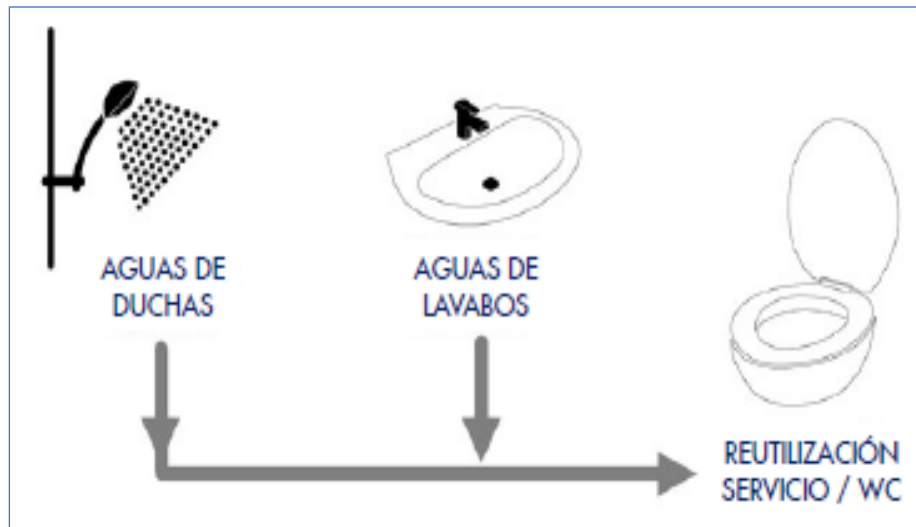
Los sistema de tratamiento viene a ser condiciones y necesidades de cada local, aplicando conocimiento científicos como el estudio de la ingeniería en evacuación de aguas contaminadas por métodos de tratamiento por fenómeno físicos llamado operaciones unitarias, en tanto sea la eliminación por proceso químicos o biológicos se denomina procesos unitarios, con el fin de recuperar las características del agua (Metcalf y Eddy, 1995).

En su revista GEONSA (2023), se subraya la relevancia de los sistemas hidráulicos en el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que son componente crucial que permiten el traslado, funcionamiento, mantenimiento y reparación efectiva en los sistemas de tratamiento, en cuanto se produzca una avería en una parte del sistema hidráulico, esta podrá ser cerrado mediante una válvula o accesorios de forma segura para evitar problemas posteriores.

### **3.2.3 Tipos de tratamiento hidráulico**

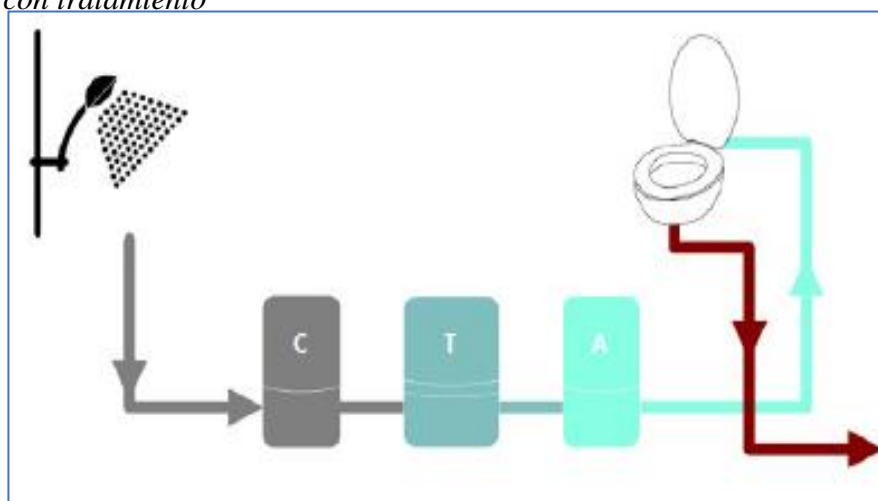
AQUA España (2016), propone estos diferentes tipos de sistemas para la recuperación de aguas grises son importantes, y su diseño y eficacia dependen de variables como la escala, la complejidad del proceso, la pureza del agua tratada y la inversión económica. Su clasificación es la siguiente:

**Sistemas sin tratamiento.** Estos sistemas, al ser de bajo impacto y coste, resultan ideales para zonas con escasez de agua o sequía, permitiendo su reutilización inmediata en riego de jardines. Sin embargo, es fundamental un control riguroso de los químicos domésticos para prevenir la degradación del suelo y asegurar la salud pública.

**Figura 1***Sistemas sin tratamiento*

*Nota.* Esta Figura muestra el sistema sin tratamiento, es decir, que va directo al inodoro, tomado de Guía Técnicas de recomendación para el reciclaje de aguas grises en edificios.

**Sistemas con tratamiento.** Los sistemas con tratamiento de aguas grises generalmente constan de tres etapas principales: la captación y el almacenamiento inicial del agua, el proceso de tratamiento en sí, y finalmente, el almacenamiento y la distribución del agua ya tratada

**Figura 2***Sistemas con tratamiento*

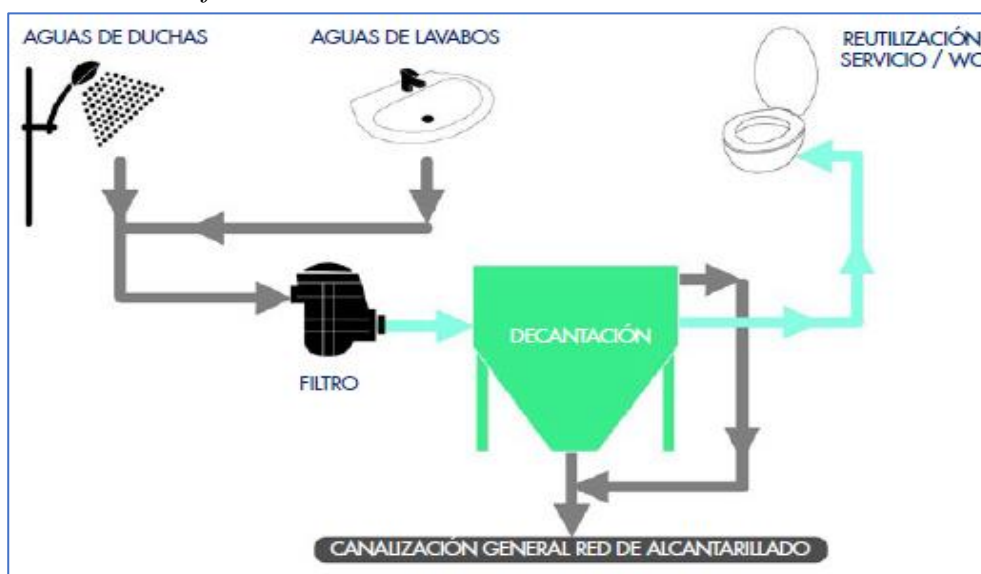
*Nota.* Esta Figura muestra el proceso de sistema con tratamiento, tomado de Guía Técnicas de recomendación para el reciclaje de aguas grises en edificios, por AQUA España, 2016

De forma general el sistema con tratamientos se organiza en los siguientes sistemas de tratamiento:

**Sistemas de tratamiento físicos.** Su único objetivo es la separación de aceites y grasas se realiza por flotación, y la eliminación de partículas sólidas suspendidas se consigue por decantación. Los sistemas de filtración, en cambio, emplean filtros (de malla, anillo, arena, entre otros), ya sea con o sin una separación previa de sólidos y/o grasas. Aunque estos sistemas de tratamiento suelen ser asequibles y requieren menos atención, en la actualidad se les clasifica como tratamientos primarios debido a su escasa eficacia (AQUA España, 2016).

**Figura 3**

*Sistemas de tratamiento físicos*



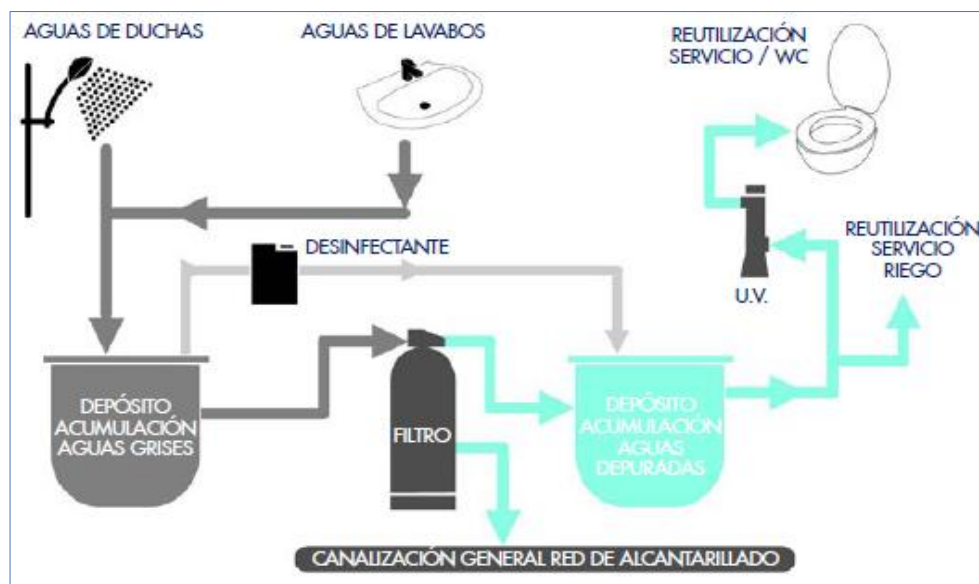
*Nota.* Esta Figura muestra el proceso de los tratamientos físicos, tomado de Guía Técnicas de recomendación para el reciclaje de aguas grises en edificios, por AQUA España, 2016

**Sistemas de tratamiento físico-químicos.** El objetivo de estos sistemas es separar contaminantes como aceites grasos, emulsiones, coloides, partículas en suspensión, materia orgánica y turbidez. La fase de tratamiento típicamente comprende: la aplicación de prefiltros para retener sedimentos y partículas antes de que el agua sea almacenada, y la

adición controlada de coagulante / agente floculante, refinado (arena, capas multicapa, etc.) y esterilización para evitar el crecimiento de microorganismos (hipoclorito de sodio, UV, etc.), el uso de estos tratamientos ha ido decreciendo con el paso del tiempo. Las razones principales son los elevados gastos asociados a su mantenimiento posterior y su bajo desempeño en contraste con las tecnologías más avanzadas que existen hoy en día (AQUA España, 2016).

#### Figura 4

##### Sistemas físico-químicos



*Nota.* Esta Figura muestra el proceso de los tratamientos físico-químicos, tomado de Guía Técnicas de recomendación para el reciclaje de aguas grises en edificios, por AQUA España, 2016

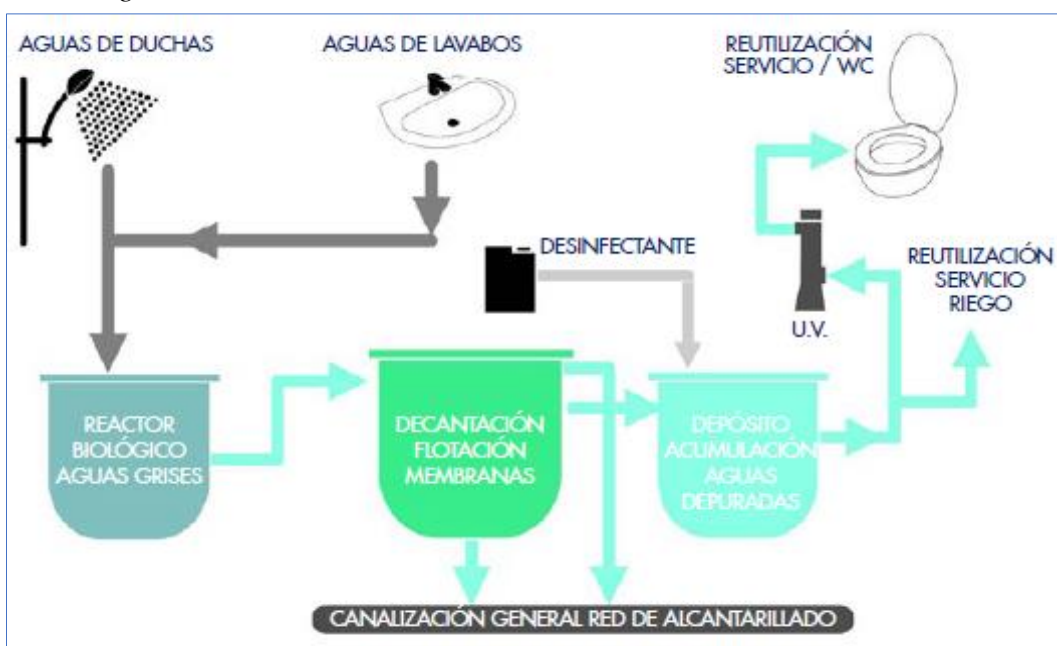
**Sistemas de tratamiento biológicos.** Existe una gran variedad de sistemas de tratamiento biológico, tanto en su estructura como en su complejidad. Todos ellos están diseñados para lograr la descomposición de la materia orgánica que se halla en las aguas grises, aportando oxígeno al sistema promueve su crecimiento. Esta contribución se puede realizar de diferentes formas de los sistemas varía en función del tipo de reactor que se

implemente. Dentro de los reactores secuenciales más populares, sobresalen los biorreactores de membrana y los biosistemas naturales:

- Reactor secuencial mediante proceso biológico de lodos activados. Son tratamientos donde trata de un procedimiento que involucra varias fases: el llenado del sistema, la aireación del contenido, la posterior decantación de sólidos y la etapa de separación.
- Biorreactores de membrana, además de los procesos biológicos que utilizan ultrafiltración o la utilización de membranas de microfiltración destinadas a la remoción de sólidos en suspensión y/o coloides, cargas microbianas, así como muerte de compuestos orgánicos altamente solubles.
- Biosistemas naturales que utilizan cierto tipo de vegetación para proporcionar oxígeno natural al agua, creando condiciones favorables para que los microorganismos que se muestran en forma de biopelículas en el sustrato entren en contacto con el agua tratada

**Figura 5**

*Sistemas biológicos*



*Nota.* Esta Figura muestra el proceso de los tratamientos biológico, tomado de Guía Técnicas de recomendación para el reciclaje de aguas grises en edificios, por por AQUA España),2016

### **3.2.4 Aguas grises**

Las aguas urbanas tienen una complejidad de tratamiento por tener contaminación microbiológica y química (sustancias muy altas), con un origen heterogéneo, por lo que la legislación ambiental debe contar con parámetros y proceso de control calidad acordes que no generen riesgo al ecosistema. En cambio, las aguas grises, al no presentar la misma complejidad de tratamiento que las aguas residuales, pueden ser recicladas. Esto se traduce en beneficios concretos, como la disminución de los gastos asociados al tratamiento y vertido de aguas residuales. El reciclaje de aguas grises, además, ofrece un tipo de sedimentación utilizado son menos estrictos que los establecidos por los objetivos de descarga ambiental, por lo que ofrece una clara ventaja económica en cuanto los requisitos de calidad agua, reducir el consumo de recursos convencionales de alta calidad, liberándolos para usos más exigentes, o simplemente dejándolos de retirar del entorno natural. (Suárez et al,2012)

#### **3.2.4.1. Aguas grises de salones de belleza**

Las aguas grises es uno de los componente para determinar el diseño del prototipo por lo que se requiere conocer las características, en su investigación "desechos líquidos: el caso de las salas de belleza" Castillo et al. (2012), evaluó mediante encuesta a cinco salones para determinar los productos que se emplean y cómo se manejan las aguas residuales, y estas actividades que diariamente generan aguas residuales son de los alisados de cabello, tratamiento, tintes, lavado, decoloración; y para la extracción de muestra se realizó de dos salones de belleza en las que se eligió una con biodegradables y otra con amonio, a continuación vemos las características según esta investigación.

**Tabla 2***Características de aguas grises de salones de belleza*

Muestra	Actividades realizadas durante el muestreo	pH	Armonio (mgNH <sub>4</sub> * /L)	DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	Grasas y aceites (mg/L)
s1	1tinte, 1tratamiento y 1 lavado.	7,96 ± 0,01	0,494 ± 0,001	77 ± 13	1905 ± 0,1
s2	1 tinte, 1 decoloración y 1lavado con tratamiento	8,88 ± 0,2	73,08 ± 0,2	240 ± 128	2775 ± 0,1
Valores máximos permitidos*		05-09		150	30

*Nota.* Esta tabla adaptada de Desechos líquidos: el caso de las salas de belleza, por Castillo et al., 2012.\*Reglamento para el Vertido y Reuso de Aguas Residuales (MINAE, 2007)

### 3.2.5 Valores máximos admisibles

Los valores máximos admisibles (VMA) son un conjunto de parámetros que fijan las concentraciones máximas de diversas sustancias contaminadas para regular las descargar de agua residuales no domesticas (aguas contaminadas de instalaciones comerciales e industrias) para proteger las instalaciones, maquinarias y equipos del alcantarillado sanitario, así como para promover el tratamiento y reúso de las aguas residuales, se establecen límites en el vertido al sistema de alcantarillado. Estos límites se detallan en la Tabla 3 del Anexo N°01 del reglamento de valores máximos admisibles

**Tabla 3***Valores máximos admisibles*

#### Anexo N°1

Parámetro	Unidad	Símbolo	VMA para descargas al sistema de alcantarillado
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	DBO	500
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	DQO	1000
Solidos Suspendidos Totales	mg/l	S.S.T.	500
Aceites y grasas	mg/l	A y G	100

## Anexo N°2

Parámetro	Unidad	Símbolo	VMA para descargas al sistema de alcantarillado
Aluminio	mg/l	Al	10
Arsénico	mg/l	As	0.5
Boro	mg/l	Br	4
Cadmio	mg/l	Cd	0.2
Cianuro	mg/l	CN-	1
Cobre	mg/l	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/l	Cr	0.5
Cromo total	mg/l	Cr	10
Manganeso	mg/l	Mn	4
Mercurio	mg/l	Hg	0.02
Níquel	mg/l	Ni	4
Plomo	mg/l	Pb	0.5
Sulfato	mg/l	SO	1000
Sulfuros	mg/l	S	5
Zinc	mg/l	Zn	10
Nitrógeno amoniacal	mg/l	NH	80
Potencial Hidrogeno (pH)	unidad	pH	6-9
Solidos Sedimentales	ml/l/h	S.S.	8.5
Temperatura	°C	T	<35

Nota. Esta tabla adaptada del decreto supremo N°010-2019-Vivienda, muestra los valores máximo admisibles (VMA) para descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario, por Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2019.

### 3.2.6 *Diseño conceptual de procesos*

El diseño de procesos Metcalf y Eddy (1995), en su libro considerar para un diseño dos criterios imponentes:

(1) desarrollo del diagrama de flujo de los procesos son interpretaciones graficas de diferentes tipos de unidades tratamiento individuales en funcion de los componentes que se desee eliminar, (2) predimensionamiento de las unidades de tratamiento este paso es decidir el numero y extension de los elementos fisicos.

Por otro lado, el dimensionamiento según AQUA España (2016) considera que se deba examinar a base de la demanda del agua gris, se trata con el fin de evitar tratamientos

innecesarios, ya que no toda el agua gris requiere ser reutilizada. La cantidad de agua gris producida dependerá de las características y el uso del lugar. El balance hídrico se gestiona en función de los volúmenes tanto de agua bruta como de agua tratada almacenados.

### 3.2.6.1. *Trampa de grasa*

El funcionamiento de la trampa de grasa se basa en la diferencia de densidades y las propiedades específicas del agua tratada para retener grasas, aceites y residuos orgánicos como cabellos. UNATSABAR (2003), las especificaciones técnicas para el diseño de trampas de grasa plantean una alternativa de solución. Estas deberán aplicarse de manera obligatoria en establecimientos como restaurantes, cocinas, hoteles y centros comerciales, funcionando como un pretratamiento esencial en lugares con alta generación de grasa.

El dimensionamiento del diseño de la trampa de grasa se realiza considerando el caudal, el cual está determinado por las unidades de gasto de cada aparato sanitario según la siguiente tabla 4, o considerar la unidades de gasto según la norma técnica de instalaciones sanitaria del lugar.

**Tabla 4**

*Unidades de gasto de cada aparato sanitario*

<b>Aparato sanitario</b>	<b>Tipo</b>	<b>Unidad de gasto</b>
Lavadero de cocina		2
lavadero de repostería	Hotel restaurante	4
Lavadero de ropa		3

*Nota.* Esta tabla adaptada de la especificaciones técnicas para el diseño de trampa de grasa, por Unidad de apoyo técnico para el saneamiento básico del área rural, 2003.

El periodo de retención esta entre 2.5 a 3.0min y para calcular el caudal maximo se utilizo siguiente ecuacion (UNATSABAR,2003):

$$Q = 0.3\sqrt{\Sigma p} \quad (1)$$

Donde:

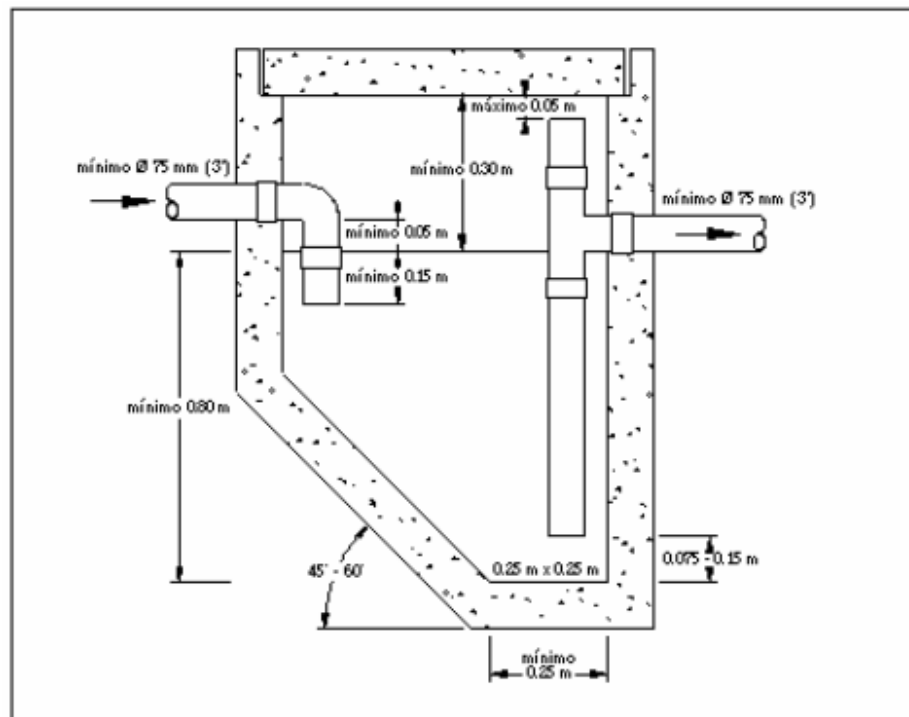
Q = Caudal máximo

$\Sigma p$  = suma de todas las unidades de gasto

En el diseño de la trampa de grasa, las características deben incluir la relación de sus dimensiones, específicamente entre la longitud y el ancho del área superficial, en función de 2:1 a 3:2., la profundidad máxima será 0.80m y el diámetro del ingreso y salida a la trampa de grasa es 75 mm como mínimo.

### Figura 6

*Trampa de grasa simple*



*Nota.* De especificaciones técnicas para el diseño de trampa de grasa, por Unidad de apoyo técnico para el saneamiento básico del área rural, 2003.

### 3.2.6.2. *Microburbujas*

El sistema de microburbujas también llamado flotación en tratamiento aguas residuales se añaden aire mediante aireadores mecánicos, aireación con difusores, sistema de oxígeno puro y tanques aireadores. Según Metcalf y Eddy (1995):

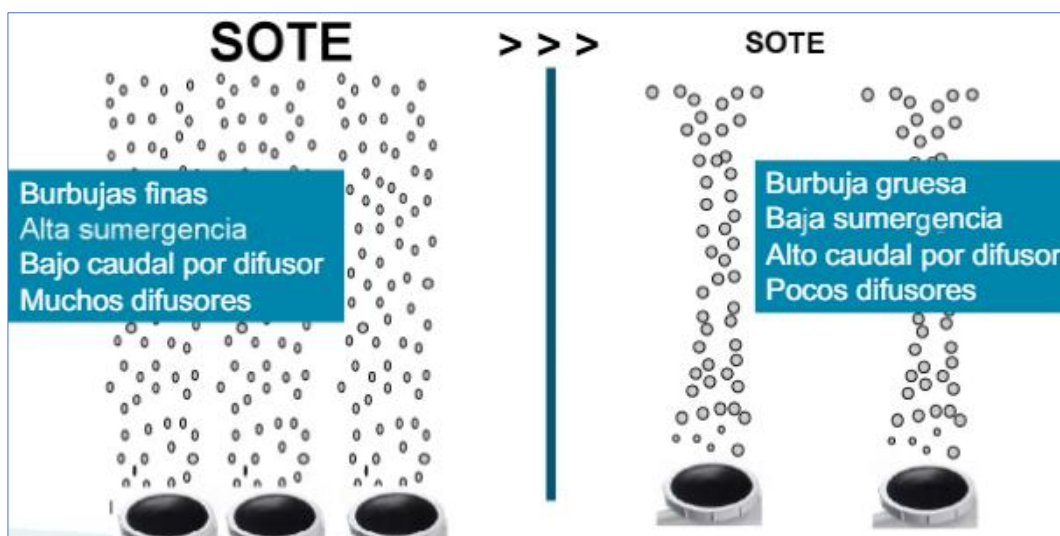
La flotación es una operación unitaria que se emplea para la separación de partículas sólidas o líquidas de una fase líquida. La separación se consigue introduciendo finas burbujas de gas, normalmente aire, en la fase líquida. Las burbujas se adhieren a las partículas, y la fuerza ascensional que experimenta el conjunto partícula-burbuja de aire hace que suban hasta la superficie del líquido. La principal ventaja del proceso de flotación frente al de sedimentación consiste en que permite eliminar mejor y en menos tiempo las partículas pequeñas o ligeras cuya deposición es lenta.(p.277)

XYLEM let is solve water (2020) en la revista detalla un sistema de aireación sanitaria de alta eficiencia, caracterizado por el uso de burbujas finas. Para establecer la eficiencia de aireación, se deben analizar los siguientes factores que afectan la tasa de transferencia de oxígeno (SOTE).

**Superficie específica.** Es el diámetro de las burbujas que tiene una superficie, es decir que a mayor diámetro de burbuja menor área y a menor diámetro mayor área como se observa en la Figura.

**Figura 7**

*Comportamiento de superficie específica*



*Nota.* Esta Figura adaptada de sistema de aireación de alta eficiencia por burbujas finas de sanitaire, por XYLEM let is solve water, 2020.

**Distribución de difusores.** Este factor va relacionado a la distancia entre difusores, densidad de difusores y el caudal de aire por difusores.

**Tabla 5**

*Comparación de la distribución de difusores*

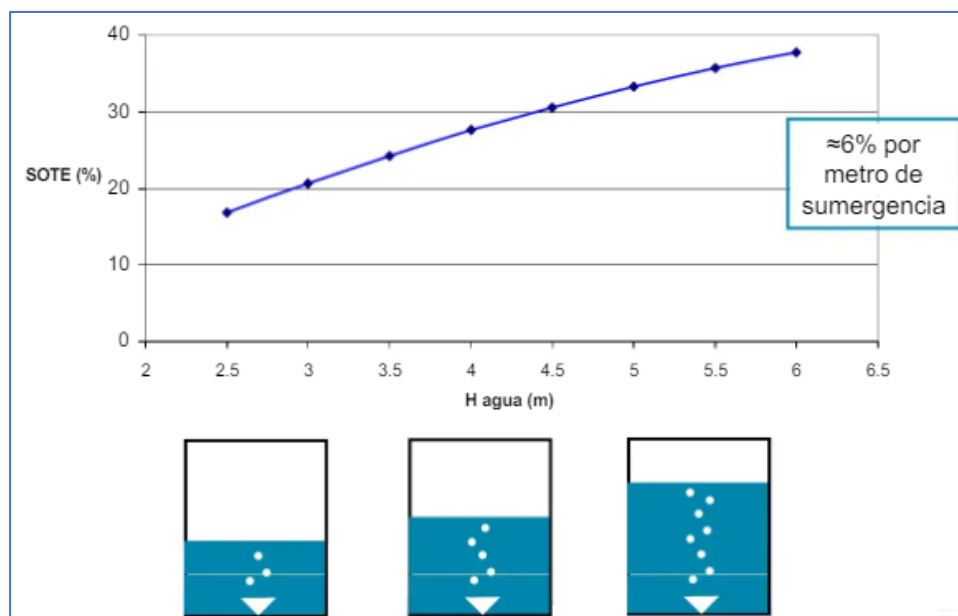
<b>Menor número de difusores</b>	<b>Mayor número de difusores</b>
- Bajo coste de inversión	- Bajo coste de operación
- Máximo espacio entre difusores	- Mínimo espacio entre difusores
- Alto caudal de aire por difusor	- Bajo caudal de aire por difusor
- Bajo SOTE para el sistema	- Alto SOTE para el sistema

*Nota.* Esta tabla adaptada del sistema de aireación de alta eficiencia por burbujas finas de sanitaire, por XYLEM let is solve water, 2020.

**Profundidad por difusor.** Es la altura útil que determina la transferencia de oxígeno al reactor, en la figura N° 8 indica que mayor altura se obtendrá mejor porcentaje de SOTE y a menor altura disminuye el porcentaje de SOTE.

### Figura 8

Gráfico de la relación SOTE y altura de agua



*Nota.* Esta figura muestra la relación del sistema de aireación de alta eficiencia por burbujas finas de sanitaire, por XYLEM let is solve water, 2020.

**Área aireada.** Es la relación entre el área del tanque y el área de la membrana, cuando exista alto área de aireación reduce la SOTE y hay efecto “slip”, en cambio cuando exista bajo área de aireación aumento el SOTE y bajo efecto “slip”. Para calcular el área aireada se realizará mediante la siguiente fórmula (XYLEM let is solve water, 2020):

$$A_{ai} = \frac{A_t}{A_d} \quad (2)$$

Donde;

$A_{ai}$  = Área aireada

$A_t$  = Área del tanque

$A_d$  = Área del difusor

### 3.2.6.3. *Filtración multigranular*

Como uno de los procesos físicos más comunes, la filtración multigranular se aplica tanto al tratamiento de agua potable como al de aguas residuales es una practica recientemente utilizada para la filtracion de esta, según Metcalf y Eddy (2014).

Los filtros de agua residual reciben particulas de tamaño mayor y mas variable, mayor peso, y cargas de solidos mas variables. Los mecanismos de filtracion son complejos, y pueden resultar de la combinacion de diversos factores, entre los que se incluyen el arrastre, la intercepcion dentro del medio filtrante, la sedimentacion por gravedad, impacto inercial de las particulas que presentan adhesion al medio filtrante, lo cual favorece, adicionalmente, la eliminacion de solidos. Debido a que el rendimiento de los filtros de agua residual depende de multitud de factores, en los casos en los que las limitaciones de calidad del efluente sean muy restrictivas, se recomienda realizar estudios en planta piloto.(p.762)

Esto indica en conocer el comportamiento del agua residual y el sistema de filtrogranular.

Seguimos cierto criterio para el diseño de cada reactor por lo que según la (OPS, 2005):

El diseño del sistema de filtro grueso dinámico, debe tener la capacidad suficiente para contener el sistema de drenaje, el lecho filtrante y la altura de agua sobre el lecho (carga hidráulica). El borde libre debe tener 0.2 m.

De acuerdo a Herencia y Sandoval (2020), en su investigacion y tanto en otras investigaciones referentes a este tema, para el cálculo del caudal de diseño para edificios y centro comerciales consideran la norma técnica IS 0.10 para determinar el gasto probable de las unidades de Hunter.

Para la velocidad del filtro Visbal y Rozo (2018) diseña un sistema de filtración mediante siguiente cuadro N° 4

**Tabla 6**

*Clasificación de filtros*

Tipo de filtro	Velocidad de filtro (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> día)	Medio Filtrante	Carga sobre el lecho
Lento	2 -10	Arena	Por gravedad
	12 -360	Lecho simple: Arena - carbón	
Rápido	240 -480	Lecho mixto: Arena - carbón o Arena - carbón - grava)	Por gravedad Por presión

Nota. Esta tabla adaptada del diseño de un sistema de filtración continua arena - carbón activado como herramienta didáctica en el laboratorio de operaciones unitarias, extraído de Visbal y Rozo, 2018.

Para cálculo del área, las dos fuentes en estudio tanto OPS (2005) y Herencia y Sandoval (2020), mencionan y mantienen la relación del caudal de operación entre la velocidad de filtración para obtener el area total del filtro:

$$At = \frac{Q}{v} \quad (3)$$

At= Área total del filtro (m<sup>2</sup>)

Q= Caudal de total (m<sup>3</sup>/h)

V= Velocidad de filtración (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> día)

**Caja de filtro**, es el área que contiene al lecho filtrante, para dimensionamiento mantiene la relación larga /ancho:  $M=L/b$ , en donde OPS (2005) recomienda la longitud del lecho filtrante sea 0.6m.

$$b = At^{1/2} \quad (4)$$

$$L_f = L \times 1.2 \quad (5)$$

Donde,

b = ancho

L<sub>f</sub>=longitud de la caja de filtro

L=longitud de lecho filtrante

**Altura de la caja de filtro**, es igual la altura del lecho soporte más altura de lecho de arena y la altura borde libre como indica en la ecuación (OPS, 2005):

$$H_f = H_{ls} + H_{lf} + H_{bl} \quad (6)$$

Donde,

H<sub>f</sub>: altura de la pared de caja (m)

H<sub>ls</sub>: altura del lecho soporte (0.3m)

H<sub>lf</sub>: altura de lecho de arena (0.5-0.7m)

H<sub>bl</sub>: altura borde libre (0.2m)

**Lecho filtrante**, es la parte que se encarga de filtrar y retener sustancias en suspensión del agua contaminada, esta dependerá en relación con el espesor de cada capa del filtro y granulometría (tamaño del material del filtro), de acuerdo con OPS (2005) proponer según la función de tratamiento diferentes filtros multigranulares, para esta investigación se detalla el diseño del filtro grueso de tipo dinámico que trabaja a gravedad.

## Tabla 7

### *Granulometría y altura de capas de filtro*

Posición en la unidad	Espesor de la capa(m)	Tamaño de grava (mm)
Superior	0.2	3.0-6.0
Intermedio	0.2	6.0-13.0
Inferior, Fondo	0.2	13.0-25.0

*Nota.* Esta tabla adaptada de la guía para el diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas, extraído de Organización Panamericana de la salud (OPS), 2005.

Para dimensionar la cámara de filtro, se deben calcular varios elementos: el área general del filtro, el área específica de cada unidad de filtro, el caudal total del filtro, el caudal de diseño y las dimensiones de la caja del filtro.

### **3.2.7 Similitud hidráulica**

La similitud hidráulica dentro de mecánica de fluidos el uso de modelos hidráulicos te permite controlar y modificar diseños analíticos de estructura hidráulicas al emplea los principios del análisis dimensional e integrar variables del fenómeno en un modelo matemático que permita escalar al modelo requerido, para ello es necesario conoce la teoría de similitud de kliner, deben cumplir con las condiciones de un modelo hidráulico en similitud geométrica, cinemática y dinámica, y a su vez parámetros adimensionales de Reynolds, Froude y Euler, significa ser posible modificarse en los numero de variables en todo los casos (Rodriguez, 2021).

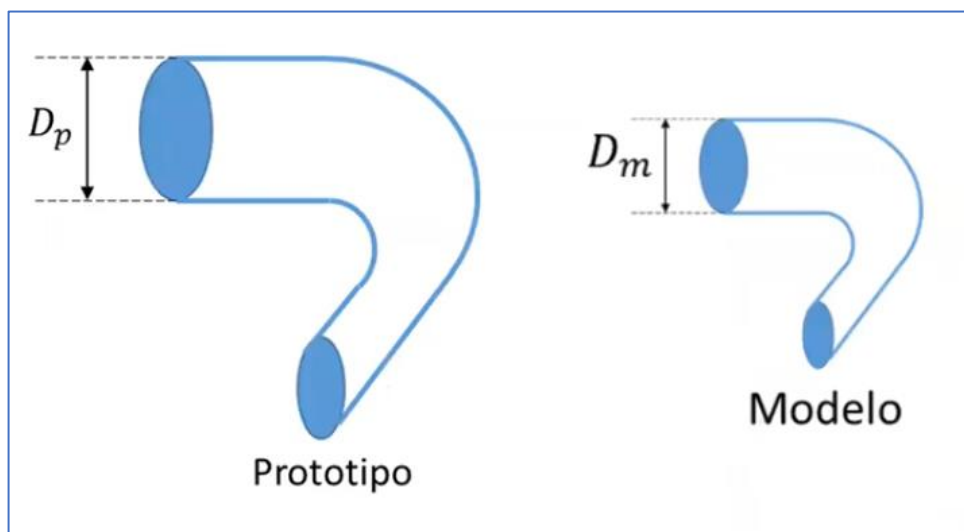
La escala viene a ser la relación entre el prototipo que posee magnitudes reales y el modelo representa el prototipo a escala, por lo tanto, las condiciones de un modelo hidráulico deben satisfacer la similitud hidráulica en cuanto a similitud geométrica la escala de líneas, similitud cinemática a la escala de velocidad, aceleración y gasto, por último, la similitud dinámica es a la escala de fuerzas.

Después de completar estas tareas, el diseñador procede a dimensionar y seleccionar los componentes del sistema. Después de los cálculos preliminares, es necesario verificar que los parámetros del sistema se ajusten a las mismas especificaciones operativas, si no, repita hasta que coincidan, si no, consulte revisar el esquema (diseño). Una vez que el diseñador ha seleccionado la mejor configuración del sistema, el trabajo continúa con el proceso de ajuste fino del diseño, selección de componentes y ajuste de parámetros. Aquí, el uso de simulación y optimización es muy útil (Pérez y Parra, 2005).

**Similitud geométrica.** La similitud geométrica implica en la forma, por lo tanto, decimos escala de longitudes la longitud del prototipo va ser proporcional a la longitud en el modelo como se observa en la figura 9, la constante de proporcionalidad al buscar la igualdad va ser precisamente la escala de longitudes ( $L_e$ ) como se observa en las ecuaciones de longitud, área y volumen que se muestra en tabla 8.

**Figura 9**

*Similitud Geométrica*



*Nota.* Esta figura muestra de la hidráulica básica. similitud hidráulica, extraída de Rodríguez, 2021.  $D_p$ , es el diámetro de prototipo.  $D_m$ , es el diámetro de modelo.

$$L_e = L_p \propto L_m$$

**Tabla 8**

*Ecuaciones de escala de similitud geométrica*

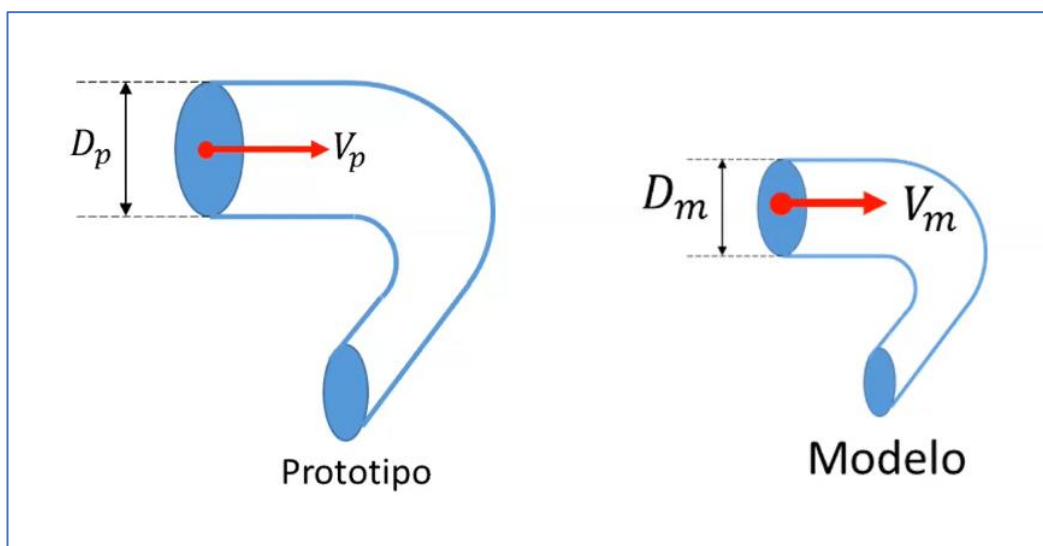
<b>Dimensión</b>	<b>Formula</b>
Longitud	$L_e = L_p / L_m$
Área	$A_e = A_p / A_m = (L_e)^2$
Volumen	$V_e = V_p / V_m = (L_e)^3$

*Nota.* Esta Figura muestra de la hidráulica básica. similitud hidráulica, extraída de Rodríguez, 2021.

**Similitud cinemática.** Implica la similitud en el movimiento, por lo tanto, decimos en la escala de cinemática, la longitud geométrica va a una determinada similitud de tiempo, la constante de proporcionalidad al buscar la igualdad va ser precisamente la escala de movimiento en relación entre el prototipo y el modelo.

**Figura 10**

*Similitud cinemática*



*Nota.* Esta figura muestra de la hidráulica básica. similitud hidráulica, extraída de Rodríguez, 2021.

$$V_e = V_p \propto V_m$$

**Tabla 9**

*Ecuaciones de escala de similitud cinemática*

Dimensión	Formula
Velocidad	$V_e = V_p / V_m$
Tiempo	$T_e = L_e / V_e$

Aceleración	$a_e = a_p / a_m = V_e / T_e$
Caudal	$Q_e = Q_p / Q_m = L_e^3 / T_e = (L_e)^{5/2}$

*Nota.* Esta Figura muestra de la hidráulica básica. similitud hidráulica, extraída de Rodriguez, 2021.

### 3.2.7.1. Leyes de similitud (parámetro adimensional)

**Numero de Froude.** Se basa a flujos por acción de la gravedad en superficies libres de flujo turbulento, donde los efectos viscosos son despreciables, por lo tanto, la constante de proporcionalidad al buscar la igualdad va ser precisamente la escala de fuerzas gravitacionales y fuerzas inerciales en relación entre el prototipo y el modelo.

**Tabla 10**

*Ecuaciones de escala de numero de Froude*

Dimensión	Formula
Gravedad	$g_p = g_m, g_e = 1$
Velocidad	$V_e = V_p / V_m = (g_e)^{1/2} (L_e)^{1/2}$
Tiempo	$T_e = L_e / V_e = L_e^{1/2} / g_e^{1/2} = (L_e)^{1/2}$
Aceleración	$a_e = V_e / T_e, a_e = g_e = 1$
Caudal	$Q_e = Q_p / Q_m = A_e V_e = g_e^{1/2} L_e^{1/2} = (L_e)^{5/2}$
Fuerza	$F_e = m_e a_e = \rho_e L_e^3 g_e$
Presiones	$P_e = F_e / A_e = \rho_e L_e g_e$

*Nota.* Esta Figura muestra de la hidráulica básica. similitud hidráulica, extraída de Rodriguez, 2021

Para simular el sistema, se debe crear un modelo matemático, asumiendo que se realizan los cálculos necesarios para simplificar el modelo tanto como sea posible, pero asegurándose de que refleje completamente los fenómenos que tienen lugar en el sistema.

Para los sistemas reales, hacer esto requiere habilidades tales como: conocimiento de sistemas, conocimiento de programación para implementar modelos matemáticos, conocimiento de matemáticas numéricas para comprender la interacción entre el modelo y los algoritmos utilizados para ejecutar la simulación y la capacidad de interpretar los resultados. Una vez que tenga el software con una interfaz gráfica y bibliotecas de componentes predefinidas, puede prescindir de las habilidades anteriores (Pérez y Parra, 2005).

### **3.3 Definición de términos**

#### **Sistema hidráulico**

Un sistema hidráulico está compuesto por un conjunto de componentes y dispositivos diseñados para transmitir energía y líquido mediante conductos o canales, además de llevar a cabo funciones específicas (Ruales, 2021)

#### **Prototipo**

El prototipo un boceto inicial de alta definición que se utiliza para evaluar y verificar de ciertos elementos, en función a su experiencia, funcionalidad, especificaciones, estética, con los detalles y las particularidades del objeto en proceso de diseño. (Verdines y Campbell, 2013).

#### **Sistemas de tratamiento agua grises**

Se define un sistema de tratamiento de aguas grises como la integración de procesos físicos, químicos y biológicos que se aplican para sanear las aguas grises hasta un punto determinado de calidad requerida para su disposición final o uso por reutilización. (Aqua, 2016).

## **Reutilización**

La reutilización convierte los costos de tratamiento en una inversión eficiente, ya que, en lugar de descargar las aguas residuales, parte del agua residual tratada se puede devolver al proceso de fabricación para que esté en las condiciones adecuadas para su reciclaje (Rojas, 2004).

## **Tratamiento**

Son procesos donde el agua fue alterada en su composición, esta requiere de etapas para tratar de recuperar la composición utilizando una diversidad de procesos, con la meta de depurar los microorganismos y los contaminantes hasta los valores máximos permitidos según las directrices (Camacho, 2011).

## **Trampa de grasa**

Diseñar un sistema de retención de grasas para separar los residuos grasos de las aguas de desecho en lugares como restaurantes, cocinas comerciales y lavanderías. (UNATSABAR, 2003)

## **Microburbujas**

Es un método para mejora la flotacion en remover contaminantes como aceite, sólidos de baja densidad, coloides, y se descubrio que tiene la capacidad de eliminación de la Demanda Química de Oxígeno se ve favorecida por la difusión de oxígeno más eficiente que las microburbujas proporcionan en procesos aeróbicos de tratamiento de aguas residuales (Nair et al., 2022)

## **Filtración multigranular**

La filtración multigranular, un proceso físico habitual en la potabilización del agua, integra la filtración gruesa con grava y la filtración lenta con arena (OPS, 2005).

### **Aguas Grises**

Esta es la cantidad de agua que queda en el lavadero, la ducha, el lavabo, etc. Su principal característica es contener una gran cantidad de jabón o aguas residuales disponibles, su estructura se basa en materia orgánica, inorgánica y la presencia de microorganismos (Lluís et al, 2016).

### **Afluente**

Agua que ingresa a un dispositivo de procedimiento o comienza un paso o proceso completo. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006)

### **Efluente**

Termino cuando termina un proceso o una etapa de tratamiento que sale de un depósito (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006).

### **Parámetros físico -químicos**

Su constitución se basa en la materia orgánica, la inorgánica y la existencia de microorganismos (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento,2019).

### **Valores máximo admisibles**

Se refiere a la cantidad de los parámetros establecidos en los Anexos N°1 y N°2, presente en los vertidos de aguas residuales no domésticas que se descargan en las redes de alcantarillado sanitario y que tienen el potencial de impactar negativamente los procesos de tratamiento de aguas residuales. (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2019).

### **Límites Máximos Permisibles**

Análisis de los niveles o concentraciones de sustancias, elementos y parámetros físicos, químicos o biológicos en un flujo de desechos, emisiones que por encima de ciertos

límites producen o pueden provocar daños en la salud, las personas y el entorno (Gestión Ambiental del Ministerio del Ambiente, 2011).

### **Temperatura**

Los parámetros termométricos en el agua son cruciales, ya que influyen en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, así como en los procesos e interacciones de sus componentes. Esto incluye la solubilidad de sustancias químicas, la velocidad de las reacciones, la disolución de gases en el agua y la actividad biológica (Sierra, 2011).

### **Demanda química de oxígeno (DQO)**

Es la representación en una disolución que químicamente puede oxidarla, en otras palabras, es la cantidad de materia orgánica e inorgánica altera por acción oxidantes, bajo condiciones acidas (Ramírez y Durán, 2008).

### **Demanda biológica de oxígeno (DBO5)**

Esta es una reacción que sucede en cuerpos de aguas naturales en donde se libera oxígeno por los microorganismos heterótrofos o mineralización microbiana deben ser medibles o recompuesto (Navarro, 2007).

### **Similitud hidraulica**

La similitud hidráulica dentro de mecánica de fluidos el uso de modelos hidráulicos te permite controlar y modificar diseños analíticos de estructura hidráulicas al emplea los principios del análisis dimensional e integrar variables del fenómeno en un modelo matemático (Rodriguez, 2021).

## **IV Metodología**

### **4.1. Tipo y nivel de investigación**

#### **Tipo de investigación**

Esta investigación se enfoca en la difusión de información sobre un prototipo de sistema de tratamiento hidráulico diseñado para la reutilización de aguas grises., es por ello, que esta investigación será aplicada, y según Castro et al. (2022) menciona que:

Los resultados de la investigación aplicada pretenden, en primer lugar, enfocarse en la validación de posibles implementaciones de productos, prototipos o modelos materializados en los niveles de transferencias y madurez tecnológicas. La investigación aplicada explora y materializa ideas en algo operativo; las aplicaciones obtenidas son susceptibles de protección a través de instrumentos de propiedad intelectual. (p.15)

Por tanto, esta investigación busca diseñar un prototipo basándose a bases teóricas por otros investigadores tomando la situación del problema a evaluar y así determinar la eficiencia en la reutilización de aguas grises.

#### **Nivel de investigación**

En una primera fase, tu investigación se dedica a la exploración del prototipo de sistema de tratamiento hidráulico para aguas grises, con el objetivo de dilucidar sus componentes, su operación inicial y los factores que podrían incidir en su rendimiento. Posteriormente, se procede a la determinación de relaciones estadísticas entre estas variables o entre el prototipo y la calidad del agua tratada, reconociendo la covarianza de las mismas sin inferir causalidad, según Arias (2012) define:

La investigación exploratoria es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o poco estudiado, por lo que sus resultados constuyen una visión aproximada de dicho objeto.

Es decir, que en esta investigación se tendrá que explorar el prototipo del sistema de tratamiento hidráulico en la reutilización de aguas grises de los salones de belleza en cuanto a su capacidad y limitación con lo relacionado; mientras la correlacional, según Hernández et al. (2014) define que:

Mide cada una de éstas, el grado de asociación entre dos o más variables, y después se cuantifican, analizan y establecen las vinculaciones teóricas. Tales correlaciones se sustentan en hipótesis sometidas a prueba.

Por lo tanto, se procedió a evaluar las variables de diseño del prototipo de tratamiento hidráulico y las propiedades del agua a tratar en la fase de prueba de hipótesis. Esta investigación busca solucionar el problema del uso desmedido de agua, implementando la reutilización de aguas grises en edificaciones, como es el caso del centro comercial Galerías, la obtención de objetivos y preguntas sobre el problema conduce a una revisión teórica que sustenta la hipótesis de eficiencia del prototipo de sistema de tratamiento hidráulico. Posteriormente, se procede a la recolección de datos numéricos, incluyendo caudal, tiempo de retención y parámetros físico-químicos, con el fin de probar las hipótesis mediante análisis estadísticos y obtener mediciones cuantitativas de las variables.

## **4.2. Ámbito temporal y espacial**

### **Ámbito temporal**

La investigación se desarrolló durante los meses de enero a mayo del año en curso, la dimensión temporal de estos beneficios evidencia su naturaleza como procesos continuos y sostenidos, en contraposición a eventos aislados. La adopción de un sistema de reutilización de aguas grises no solo provee una solución inmediata, sino que propicia

ahorros, optimizaciones ambientales y ventajas infraestructurales que se acentúan y extienden a lo largo de la vida útil del sistema, constituyendo una inversión con retornos permanentes.

### **Ámbito espacial**

El ámbito de esta investigación abarca la ciudad de Abancay, en el departamento de Apurímac. En esta área geográfica, se procederá a evaluar la cantidad de agua disponible y la demanda de consumo asociada a la utilización de los inodoros, así mismo tomaremos muestra de agua grises de los lavaderos de cabeza, que serán depuradas para el uso en inodoros y/o riego, basado en la durabilidad y eficiencia del prototipo.

#### **4.3. Población y muestreo**

##### **Población**

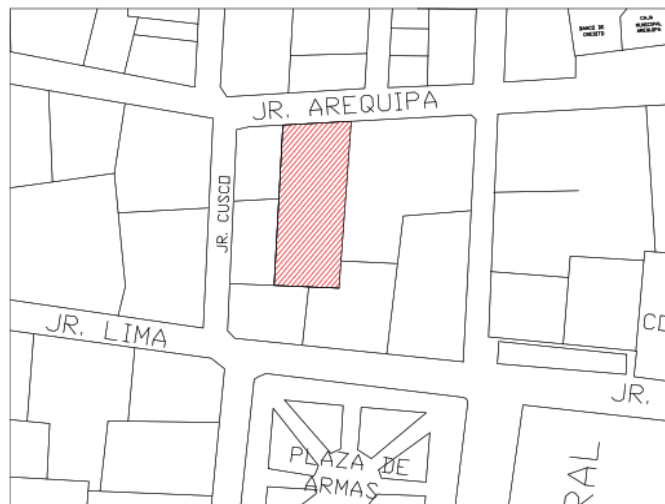
La población según Arias (2012) define:

En términos más precisos es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación, esta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio.

Para esta investigación la población a investigar viene a ser el prototipo propuesto del sistema de tratamiento hidráulico estará orientada a la captación de aguas grises en las galerías Apurímac con un área de  $753.10\text{m}^2$  que está ubicado entre Jr. Arequipa con Jr. Cusco, cuenta con dos pisos en el primer nivel encuentra con 24 stand de venta de ropa, lencería y calzados, y con dos servicios higiénicos públicos; en el segundo nivel cuenta con 24 stand, de ellos se ha observado que hay 16 stand que brindan servicio de salón de belleza entre ellas 06 de estos stand de salón de belleza cuentan con baño, y los restantes son espacios de almacén; la ubicación del lugar se muestra en la siguiente figura:

## Figura 11

*Ubicación de la Apurímac.*

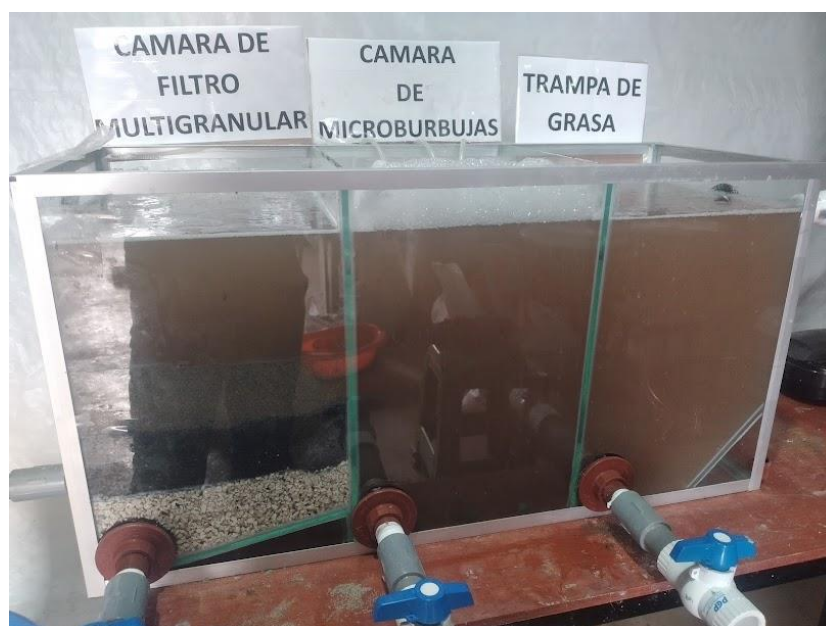


*Nota.* Esta figura muestra el lugar exacto donde se realizará el levantamiento de muestras para el prototipo y estudios de todo el sistema para la elaboración del prototipo hidráulico.

En la figura 12 se muestra el prototipo de sistema de tratamiento hidráulico para reutilizar las aguas grises en una red independiente (redes domiciliarias) a las instalaciones del alcantarillado.

## Figura 12

*Prototipo de sistema de tratamiento hidráulico*



*Nota.* Esta figura muestra el prototipo propuesta para reutilización de aguas grises.

### 4.3.1. Muestra

López (2014), define una muestra se define como una fracción o segmento de un universo o población, destinada a ser investigada. En este caso, la investigación empleó un tipo de muestreo no probabilístico, un método de selección que prescinde de la probabilidad de que los elementos de la población integren la muestra. La selección de las unidades de estudio no se fundamentó en la probabilidad, sino en la motivación del investigador para hallar una conexión entre las variables de la investigación.

En cuanto a la operación se consideró una semana de trabajo (miércoles a miércoles), el muestro se realizó de forma inter diaria (miércoles, sábado, lunes y miércoles), y se levantó en dos puntos (efluente y afluente) de ellas obtendremos ocho muestras de parámetros físico químicos y dos parámetros medibles; por lo tanto, en total tendremos 72 datos de la recolección de información según la tabla 11.

**Tabla 11**

*Operación día de muestreo*

Días de la semana	Días de muestreo							
	M	J	V	S	D	L	M	M
Muestreo	1er			2do		3ro		4ta

*Nota.* Esta tabla muestra los días programadas para el levantamiento de muestra y envío al laboratorio acreditado fueron 4 días (miércoles, sábado, lunes y miércoles).

### 4.4. Instrumentos

Arias (2014), Un instrumento para la recolección de datos se define como cualquier herramienta, ya sea un equipo o un formulario (en formato tangible o digital), que funciona como un medio para adquirir, registrar o almacenar información. En virtud de esto, en la presente investigación se emplearon las siguientes herramientas:

**Tabla 12***Instrumentos empleados en la investigación*

<b>Dimensiones</b>	<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>
Diseño del prototipo	Análisis documentario	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Norma IS.010</li> <li>- Especificaciones técnicas de diseño trampa de grasa</li> <li>- Guía para el diseño de sistemas tratamiento de filtración en múltiples etapas</li> <li>- Sistema de aireación de difusores</li> <li>- Teoría de similitud hidráulica</li> <li>- Materiales para simular el prototipo</li> </ul>
Caudal de ingreso y tiempo de retención hidráulico	Observación experimental directa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ficha de recolección de datos Anexo N°04 y N° 05</li> <li>- Cronometro</li> </ul>
Remoción parámetros físico – químico	Análisis documentario	- Análisis de laboratorio acreditada

*Nota.* Esta tabla muestra los instrumentos en cuanto a las dimensiones (Diseño, caudal y tiempo de retención y remoción de los parámetros), la técnica fue netamente para una investigación experimental que ayudo en levantamiento de información.

Para el análisis de datos de los resultados obtenidos, se empleó el software Excel. Adicionalmente, para el diseño del prototipo, se utilizó AutoCAD. Para la comparación de los resultados esta investigación, se aplicó el reglamento de valores máximos admisibles, el cual rige las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado, así como los límites máximos permisibles establecidos para las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

#### **4.5. Procedimiento**

Primero se tuvo que elegir el proceso de tratamiento, las cargas de contaminación y las normas vigentes, teniendo estos que me permita cumplir con el objetivo principal, y de ahí se procedió a dimensionamiento el sistema de tratamiento hidráulico para la reutilización de aguas grises a la demanda requerida, seguidamente se calculó la similitud hidráulica para un modelo reducido a una escala 1:3 de toda la estructura del sistema de prototipo.

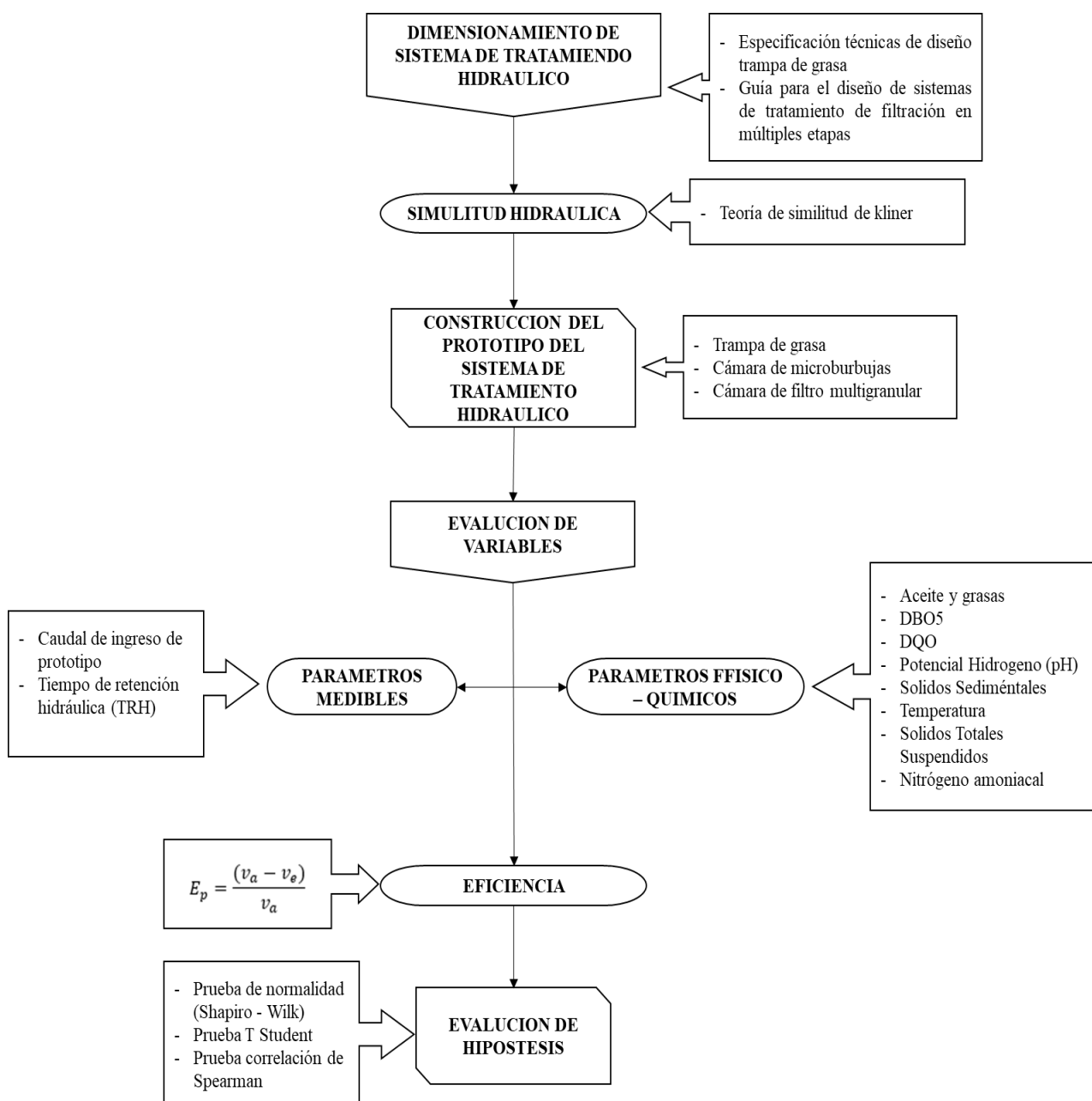
Se procedió a la adquisición de los materiales necesarios para la construcción del sistema de tratamiento hidráulico, tal como se detalla en el Anexo N°08, paralelamente se cotizó el laboratorio para su respectivo levantamiento y envió de la muestra teniendo la programación de los días de muestreo. El sistema se construyó en una vidriería por no tener las herramientas correspondientes, pero la instalación de las tuberías de todo el sistema se realizó en la casa del investigador con el fin tener más control del comportamiento de sistema como se observa en el Anexo N°09.

Para la extracción de la muestra se puso un balde de 90 litros en el salón de belleza durante el horario del servicio como se muestra en el anexo N°07, una vez recolectada se trasladó al domicilio para pasar por el sistema de tratamiento hidráulico, se levantó en dos puntos (afluente y efluente) de estos se analizó 08 parámetros físico químicos en laboratorio acreditado como se muestra en los anexo N°06, N°05 y N°04, y 02 de parámetros medibles (caudal y tiempo de retención hidráulica) que se muestra en el anexo N°04, para dar mas viabilidad a esta investigación se llevó un control de acuerdo al anexo N°7.

La Figura 13 a continuación presenta el diagrama de flujo correspondiente al procedimiento metodológico del trabajo de investigación.

**Figura 13**

*Diagrama de flujo de la investigación*



*Nota.* Esta figura muestra los pasos del proceso de ejecución de la investigación para el diseño de prototipo (trampa de grasa, c. de microburbujas y c. de filtro multigranular) y la evaluación de la eficiencia.

La técnica de observación experimental será la empleada en esta investigación. De acuerdo con la definición de Hernández et al. (2014), se entiende que:

Los experimentos manipulan tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (denominadas variables independientes) para observar sus efectos sobre otras variables (las dependientes) en una situación de control.

Por lo tanto, esta investigación se observará los efectos de reutilización de agua grises en cuanto al caudal, parámetros físico – químicos y el tiempo de funcionamiento por el prototipo del sistema de tratamientos hidráulico, es así que fueron controlados por parte del investigador.

**Desarrollo del caudal efluente en prototipo del sistema de tratamiento hidráulico.** El caudal se tomó en lugar de la simulación por el método volumétrico según Bello y Pino (2000) explica “este metodo permite medir pequeños caudales de agua; para lograr esto, es indispensable tener un receptáculo (balde) de volumen conocido en el que se recolecte agua, registrando el tiempo que tardó en llenarse”(p.13), aplicando la formula de caudal.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (7)$$

Donde:

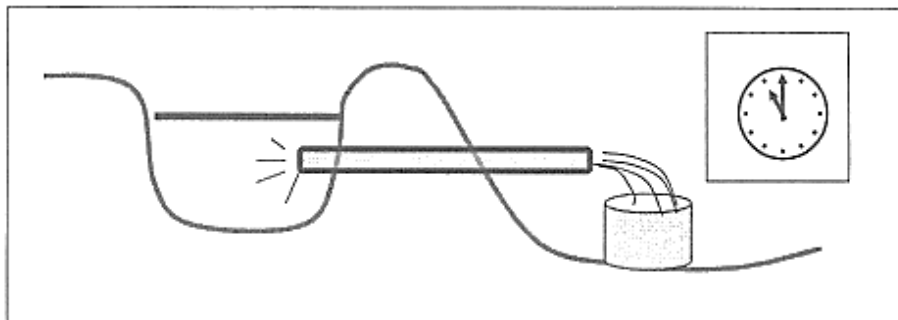
Q=Caudal

V=Volumen del balde

t = Tiempo de segundo (s)

**Figura 14**

*Método volumétrico*



*Nota.* Esta figura muestra la medición de presión y caudal, por Bello y Pino, 2000.

**Desarrollo del tiempo de retención hidráulica en el prototipo del sistema de tratamiento hidráulico.** El tiempo de retención hidráulica se midió desde ingreso al sistema de tratamiento hidráulica hasta la salida de efluente mediante un cronometro durante los días de operación del sistema

**Muestras tomadas de parámetros físico – químico para enviar al laboratorio.**

La eficiencia del prototipo del sistema de tratamiento hidráulico se consideró tomar los siguientes parámetros que indican la tabla 13, los parámetros físico – químicos se evaluó en laboratorio Luis Pasteur acreditado por INACAL y los parámetros medibles se darán en tiempo de operación, a continuación.

**Tabla 13**

*Parámetros aplicados en la investigación*

<b>Parámetros aplicados en la investigación</b>	
<b>Parámetros</b>	<b>Und</b>
<b>Parámetros físico -químicos</b>	
Nitrógeno amoniacal	mg/l
Aceites y grasas	mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l
Solidos Sedimentales	ml/l/h
Solidos Totales Suspendidos	mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l
Potencial Hidrogeno (pH)	unidad
Temperatura	°C
<b>Parámetros Medibles</b>	
Caudal de ingreso de prototipo	L/s
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	min:s

*Nota.* Esta tabla muestra los parámetros seleccionados, tanto parámetros físico-químicos y medibles para la recolección de muestras en los puntos de toma (afluente y efluente).

**Determinar la eficiencia de remoción del prototipo del sistema de tratamiento hidráulico.** Lo que implica calcular la capacidad del sistema para retirar contaminantes,

mediante los resultados obtenidos del laboratorio acreditado Luis Pasteur se define la eficiencia del prototipo en los 06 parámetros físico - químicos tomados en los cuatro días de ejecución, por tanto, aplicando la siguiente fórmula:

$$E_p = \frac{(v_a - v_e)}{v_a} \quad (7)$$

Donde;

$E_p$  = Eficiencia de la remoción del parámetro

$v_a$  = Valores del afluente del prototipo

$v_e$  = Valores del efluente del prototipo

#### **4.6. Análisis de datos**

Levine y Berenson (2008), la estadística inferencial, que consiste en inferir conclusiones sobre una población a partir de una muestra, guiará el análisis de datos en esta investigación. El procesamiento se efectuará mediante el software SPSS Statistics, incluyendo pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk), T de Student y correlación de Spearman.

Complementariamente, Excel se utilizará para la creación de tablas, gráficos, diagramas y cuadros, lo que facilitará la interpretación de los hallazgos en relación con los objetivos de investigación

#### **4.7. Consideraciones éticas**

Ojeda de López et al (2017), define la moral, entendida como el conjunto de conocimientos que guían la reflexión hacia el bien y el mal, es fundamental en esta investigación. Nos comprometemos a llevar a cabo el estudio respetando y cumpliendo las normas, deberes y valores inherentes a la ética profesional, asegurando así la consecución de los objetivos de la presente investigación.

En conformidad con el reglamento del Comité de Ética de Investigación de la Universidad Tecnológica de los Andes, cuyo objetivo es orientar la conducta de investigadores, docentes y estudiantes respecto al código de ética, el presente investigador se compromete a cumplir los siguientes deberes y normas durante el desarrollo de su investigación.

## **V Resultado y Discusion**

### **5.1 Resultados**

En este capítulo mencionaremos el resultado obtenido de la evaluación realizada del prototipo del sistema de tratamiento en la reutilización de agua grises en un tiempo de operación de una semana consideran cuatro días de muestreo, por tanto, exponemos de manera estructurado la secuencia del objetivo específico, y así sucesivamente al objetivo general siguiéndose cuidadosamente lo propuesto en la metodología de esta investigación.

#### **5.1.1. Respuesta al objetivo específico 1**

“Determinar el diseño del prototipo propuesto del sistema tratamiento hidráulico en la reutilización de aguas grises en el Apurímac en el sector de Abancay, 2023“

##### **5.1.1.1. Consideraciones antes del diseño de prototipo dispositivo de tratamiento hidráulico.**

Para calcular la dotación diaria mínimas de agua en el centro comercial se realizó según IS 0.10 considerando el ítem K la dotación de agua para locales comerciales, y en cuanto a las galerías Apurímac el comercio del primer nivel es venta de ropa por lo que se consideró la dotación para estos locales es 6 L/d por m<sup>2</sup> solo comercio de mercancía seca y se obtuvo 3348 L/d de dotación de agua para el primer nivel se detalla en la siguiente tabla 14:

**Tabla 14***Dotación de agua para locales comerciales*

<b>Descripción</b>	<b>Área</b>	<b>cantidad</b>	<b>l/d</b>	<b>Total</b>
A1	17.82	1	6	106.92
A2	16.63	1	6	99.78
A3	16.68	1	6	100.08
A4	16.26	1	6	97.56
A5	16.15	1	6	96.9
A6	16.25	1	6	97.5
A7	17.47	1	6	104.82
A8 = A17	17.84	3	6	321.12
A9 = A16	17.41	3	6	313.38
A10 = A15	17.03	3	6	306.54
A11 = A14	18.54	3	6	333.72
A12 = A13	17.73	3	6	319.14
A18	16.75	1	6	100.5
A19	16.82	1	6	100.92
A20	17.81	1	6	106.86
A21	16.72	1	6	100.32
A22	16.87	2	6	202.44
A23	16.6	2	6	199.2
A24	20.09	2	6	241.08
<b>Dotación (tiendas de ropa y almacenes)</b>				<b>3348.78</b>

*Nota.* Esta tabla muestra la dotación diaria mínimas del primer nivel con mercadería seca, se simbolizó cada local con A en la cual tuvimos 24 áreas por la dotación que será 6 L/d por m<sup>2</sup> de área útil del local teniendo 3348.78 L/d.

En el segundo nivel se ubican 16 locales para salones de belleza (stand). Al no existir información en la norma de instalaciones sanitarias para edificaciones sobre la dotación requerida para salones de belleza, se consultó la guía de buenas prácticas sobre el uso eficiente del agua en este sector. Dicha guía recomienda una dotación diaria mínima de 360 L/d por empleado.

### **Tabla 15**

#### *Dotación de agua para salones de belleza*

Descripción	Cantidad	l/d	Total
Salones de belleza (SB)	16	360	5760
Dotación total de SB			<b>5760</b>

*Nota.* Esta tabla muestra los 16 SB por la dotación diaria mínima de agua que es 360l/d, teniendo un total de 5760 l/d.

La dotación total de todos los locales en el Apurímac es 9108.78 l/d

**El proceso para calcular la demanda de aguas grises**, con miras a su reutilización en los baños, exige la determinación de la cantidad disponible y la cantidad que se requiere. Utilizaremos el método Hunter para este fin, la siguiente tabla 16 mostrará el número de aparatos que contribuirán con a determinar la disponibilidad de aguas grises.

**Tabla 16***Disponibilidad de agua gris*

<b>Disponibilidad de agua gris</b>			
<b>Aparatos sanitarios</b>	<b>UH</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total, UH</b>
Lavadero de cabello	3	16	48
Lavatorio de mano	2	1	2
Total (UH)			50

*Nota.* Esta tabla muestra la cantidad de disponibilidad (unidad de gasto) de los aparatos sanitarios la cantidad de 16 lavadero de cabello por 3 unidades de gasto y un lavadero de mano por 2 UH con un total 50 UH.

Así, en cuanto a la demanda de agua grises que exige la reutilización, conforme a lo establecido en el anexo 02 del RNE IS 0.10, se asignaron las Unidades Hunter (U.H.) correspondientes a cada inodoro. La siguiente tabla ilustra estos valores:

**Tabla 17***Demanda de agua gris*

<b>Demanda de agua gris</b>			
<b>Aparatos sanitarios</b>	<b>UH</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total, UH</b>
Inodoro (2 piso)	5	6	30
Inodoro (1 piso)	5	2	10
Adicional lavadero múltiple (limpieza)	6	1	6
Total (UH)			46

*Nota.* Esta tabla muestra la cantidad de demanda máxima (unidad de gasto) de los aparatos sanitarios la cantidad de 6 inodoro (2 piso) por 5 unidades de gasto, un inodoro (1 piso) por 2 UH y un lavadero múltiple (limpieza) por 6UH con un total 46 UH.

En consecuencia, del cálculo de unidades Hunter obtendremos la disponibilidad de agua grises en un 52.1% y demanda de agua grises en un 47.9%, por tanto, detallo la cantidad disponible y demandante:

**Tabla 18**

*Cantidad disponible y demanda de agua grises*

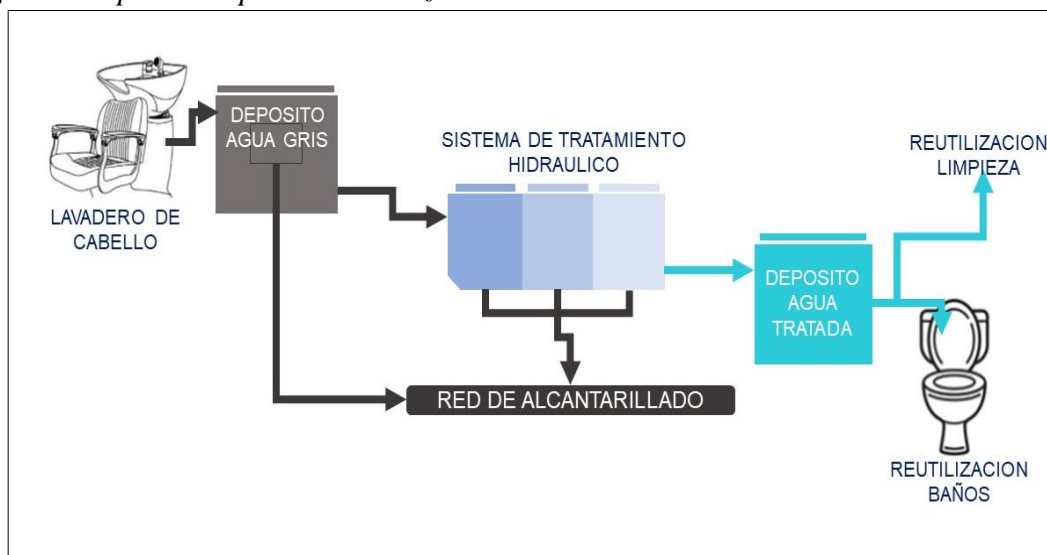
Descripción	Consumo diario (l/d)	%	Total (l/d)
Cantidad disponible	9108.78	52.1	4745.7
Cantidad de demanda	9108.78	47.9	4363.1

*Nota.* Esta tabla muestra el cálculo de la cantidad total del consumo diario (l/d) multiplicado por los porcentajes de la disponibilidad (tabla 16) y demanda (tabla 15), así obtuvimos el total de disponibilidad y demanda.

**Para calcular el caudal de máxima demanda simultánea**, se consideró la cantidad de agua gris a reutilizar, la cual suma un total de 46 unidades de gasto, tal como se evidencia en la Tabla 17, y según el anexo N°03 de IS 0.10 calculamos el caudal de máxima demanda simultánea a 1.03 lps del centro comercial galerías Apurímac para la reutilización.

**Figura 15**

*Diagrama de procesos para la reutilización*



*Nota.* Esta figura muestra el diagrama de procesos desde la recolección del agua gris, tratamiento, depósito de almacén de agua tratada y la reutilización a hacia los inodoros y de limpieza.

### 5.1.1.2. Diseño de sistema de tratamiento hidráulico

El prototipo del sistema de tratamiento hidráulico para la reutilización de agua gris, en su proceso de dimensionamiento, incluirá tres componentes clave: una trampa de grasa como primera etapa, un sistema de nanoburbujas como segunda, y un filtro multigranular como fase final.

**Diseño de trampa de grasa .** El dimensionamiento de la trampa de grasa se realizará siguiendo los criterios estipulados en las especificaciones técnicas para su diseño. El caudal de diseño se basará en la demanda de agua grises necesaria para la reutilización, la cual se deriva de las unidades de gasto de los aparatos sanitarios, tal como se indica en la Tabla 17

El caudal máximo se calculará entre el producto de sumatoria de todas las unidades de gasto a ser atendido por la trampa de grasa, multiplicado por el factor 0.3 propuesto según UNATSABAR (2003):

$$Q = 0.3\sqrt{\sum p} = 0.3\sqrt{46} = 2.03 \text{ l/s}$$

Para el cálculo del volumen de la trampa de grasa, se aplicará un criterio de retención de 3 minutos.

$$V = Q * t = 2.03 * 180 = 366 \text{ l}$$

Entonces, se ha determinado un volumen de 0.37 m<sup>3</sup> para la trampa de grasa. Las restricciones de diseño especifican que la relación entre el largo y el ancho de su área

superficial debe encontrarse entre 2:1 y 3:2, y que la profundidad no debe ser inferior a 0.80 metros. Esto nos lleva a calcular el área.

$$A = \frac{v}{h} = \frac{0.37}{0.8} = 0.46 \text{ m}^2$$

Medidas de la trampa de grasa:

$$H = 0.8 \text{ m}$$

$$L = 0.9 \text{ m}$$

$$a = 0.7 \text{ m}$$

**Camara de sistema de microburbujas.** Para el proceso del sistema de microburbujas se considera la misma dimensiones del filtro granular, con el área dada se calculara el área de aireacion segun la ecuacion (2), teniendo el area de tanque de  $0.56 \text{ m}^2$  y el area de los difusores ( $0.15 \text{ m} \times 0.81 \text{ m}$ ) de  $0.12 \text{ m}^2$  se multiplica por la cantidad de difusores.

$$A_{ai} = \frac{At}{Ad} = \frac{0.56}{0.36} = 1.56 \text{ m}^2$$

Para la aireación, se optó por difusores que ofrecen un 6% de SOTE (Tasa de Transferencia de Oxígeno) y una altura de 1.10m, con una bomba de aire de 30W. La decisión de implementar este reactor se basó en los resultados de la primera muestra analizada en el laboratorio Slab, donde se detectó una Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 4780.56 mg/L. Este valor indicó que se requería un proceso adicional para lograr la disminución deseada de contaminantes.

**Diseño de la camara de filtro multigranular.** Para determinar las dimensiones de la cámara de filtración multigranular, se utilizó un caudal de llegada de 1.03 l/s. Este valor se obtuvo a través del cálculo estipulado en la norma técnica IS.010, empleando unidades de gasto, y consideramos la velocidad del filtro a  $240 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  por ser un lecho mixto, la

carga sobre el lecho por gravedad se muestra en su cuadro de clasificación de los filtros de Vilbal y Rozo (2018).

Una vez teniendo el caudal y la velocidad de filtración calculamos el área por la siguiente fórmula 3, teniendo un área de  $0.3709\text{m}^2$ .

A continuando, se considero valores según OPS/CEPIS (2005) de la caja de filtro del sistema de filtro grueso dinámico (FGDi).

Caja de filtro: relación largo/ ancho  $R = L/a$ . ambos en (m)

Donde,

$$a = (Af)^{1/2} = 0.61\text{m}$$

Se ha considerado una longitud de 0.6 metros para el lecho filtrante del FDGi, tal como se detalla en el resumen de sus valores de diseño.

$$Lf = L \times 1.2 = 0.6 \times 1.2 = 0.7 \text{ m}$$

Por tanto, la pared de la caja de filtro :  $Hf = Hls + Hlf + Hbl$

Donde,

Hf: altura de la pared de caja	(m)
Hls: altura del lecho de soporte	(0.3m)
Hlf: altura de lecho de arena	(0.5-0.7m)
Hbl: altura borde libre	(0.2m)

$$Hf = Hls + Hlf + Hbl = 0.2 + 0.7 + 0.2 = 1.1 \text{ m}$$

En consecuencia el dimensionamiento para el diseño de la cámara de filtración multigranular son:

Ancho: 0.8m

Largo:0.7m

Altura:1.1m

Por otra parte, el lecho filtrante tiene una altura total de 0.70m según Maifadi et al. (2022) en su investigación propone tres medios granulares: arena, zeolita y carbon de acuerdo a la función de cada material, en cuanto a nuestra distribución del lecho filtrante se determino por los resultados obtenidos del laboratorio; la arena se utilizo para retener lo restante de los elementos suspendidos, para la eliminación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), el carbón activado granular ofrece una eficiencia del 94.55%. La zeolita, en cambio, se utilizará específicamente para la remoción de metales pesados. A continuación se detalla la distribución de las capas de todos los filtros que proponemos:

**Tabla 19**

*Distribución de la capa de filtro*

Posición	Altura capa		Tamaño		Nombre
	Teórico	Asumido	Teórico	Asumido	
Lecho 1	20	20	0.3, 0.8, 1.2	0.3-1.8	Arena
Lecho 2	20	20	80	2-3	Carbon activado
Lecho 3	20	20	1.2	1- 4.5	Zeolita
Total Lecho	100	60	PDS-AOP		

*Nota.* Esta tabla muestra las capas de filtro que se propusieron en la cámara de multigranular, se observa la posición (arena, carbón activado y zeolita), la altura y el tamaño de cada lecho filtrante.

Por lo tanto, habiendo dimensionado los diferentes reactores (cámaras) procedemos a dibujar el plano en AutoCAD en vista lateral y en planta con las medidas reales y accesorios que se detallan en el Anexo N°3.

### 5.1.1.3. Teoría de similitud de kline

Para evaluar el prototipo de sistema tratamiento hidráulico, se tuvo que recurrir a la teoría de similitud de kline, nos permitió trabajar a una escala deseada que mantenga una relación en todas las dimensiones del prototipo a un modelo, el dimensionamiento escalado del modelo se trabajó a 1:3, la relación  $L_e$  es igual a 3, se calcula la similitud para el caudal, volumen, y otras partes del prototipo, a continuación calculamos el caudal de escala  $Q_e$ :

$$Q_e = Le^{5/2}$$

$$Q_e = 3^{5/2}$$

$$Q_e = 15.59$$

Entonces calculamos el caudal de modelo en relación del caudal prototipo y el caudal del modelo como indica la fórmula de escala de similitud cinemática.

$$Q_m = \frac{Q_p}{Q_e}$$

$$Q_m = \frac{1.03l/s}{15.59}$$

$$Q_m = \frac{1.03l/s}{15.59}$$

$$Q_m = 0.066l/s$$

En cuanto a la similitud geométrica de la longitud, área y volúmenes, se busca tener relación entre prototipo y el modelo, por lo que, esta tendrá  $L_m=L_p/3$  al despejar la ecuación de similitud geométrica, y el factor de escala 1:3.

**Tabla 20**

*Escala de longitudes del modelo*

Longitud			
Magnitud	Escala real prototipo (m)	Factor de escala (Le)	Escala del modelo
a	0.8	3	0.27
L	2.1	3	0.70
H	1.1	3	0.37

*Nota.* Esta tabla muestra la conversión de la escala real prototipo (ancho, largo y altura) a la escala de modelo para desarrollar en el laboratorio a una  $Le = 3$ .

Por lo tanto el volumen se expresa según la fórmula de escala de volumen y la siguiente relación:

$$V_m = \frac{V_p}{Le^3}$$

**Tabla 21**

*Escala de volumen del modelo*

Volumen			
Magnitud	Medida real prototipo (m)	Factor de escala ( $Le^3$ )	Medida del modelo
v	1.8	27	0.068

*Nota.* Esta tabla muestra la conversión de la escala real prototipo (volumen) a la escala de modelo para desarrollar en el laboratorio a una  $Le = 3$ .

En cuanto al diámetro de tubería del prototipo se tomó según UNATSABAR (2003) considerando 75mm de diámetro mínimo para el diseño del prototipo, pero para el modelo se optó tubería de 3/4" que tiene un diámetro de 26.5mm siendo mayor al cálculo del diámetro del modelo por no encontrar esa medida en mercado.

**Tabla 22**

*Escala de diámetro tubería del modelo*

Magnitud	Diámetro		
	Medida real prototipo (cm)	Factor de escala (Le)	Medida del modelo
$d_m$	2.1	3	0.7cm
$d_t$	7.5	3	2.5cm

*Nota.* Esta tabla muestra la conversión de la escala real prototipo (diámetro) a la escala de modelo para desarrollar en el laboratorio a una  $L_e = 3$ .  $d_{sm}$  es diámetro de manguera siliconada del sistema de microburbujas y  $d_t$  es diámetro de tubería

El ángulo de la pendiente de la trampa de grasa y de la cámara de filtro multigranular se detallan en la tabla 23.

**Tabla 23**

*Escala de ángulo de la pendiente del modelo*

Magnitud	Angulo		
	Medida real prototipo	Factor de escala (Le)	Medida del modelo
$\theta_{fm}$	4	3	1.3
$\theta_{tg}$	45	3	15.0

*Nota.* Esta tabla muestra la conversión de la escala real prototipo (Angulo) a la escala de modelo para desarrollar en el laboratorio a una  $L_e = 3$ .  $\theta_{fm}$  es el ángulo del pendiente filtro multigranular y  $\theta_{tg}$  es el ángulo de la pendiente trampa de grasa

La potencia de la bomba de aire para el sistema de microburbujas se detalla en la tabla 24.

**Tabla 24**

*Escala de la potencia de la bomba de aire*

Potencia de la bomba			
Magnitud	Medida real prototipo	Factor de escala ( $L_e$ )	Medida del modelo
P	30w	3	10w

*Nota.* Esta tabla muestra la conversión de la escala real prototipo (Potencia de la bomba) a la escala de modelo para desarrollar en el laboratorio a una  $L_e = 3$ .

### 5.1.2. Respuesta al objetivo específico 2

“Indicar las características físico –químicas de las aguas grises en la remoción con el prototipo del sistema tratamiento hidráulico para su reutilización”

A continuación, para dar respuesta al objetivo 2 sobre los ocho parámetros físico - químicos del agua gris extraídas del salón de belleza del Apurímac y al ser pasado por el prototipo del sistema de tratamiento hidráulico, se consideró todas indicaciones del laboratorio para la adecuada extracción y envió de los resultados, dicho esto evaluaremos la remoción de cada parámetro de los cuatro días y la comparación con los reglamentos LMP y VMA. Por lo tanto, se detalla los resultados obtenidos:

**Aceites y grasas.** La concentración de aceites y grasas en el afluente (M-A) fue de 232.5 mg/L, mientras que en el efluente (M-E) se redujo a 3.1 mg/L en promedio.

**Tabla 25**

*Remoción del aceites y grasas*

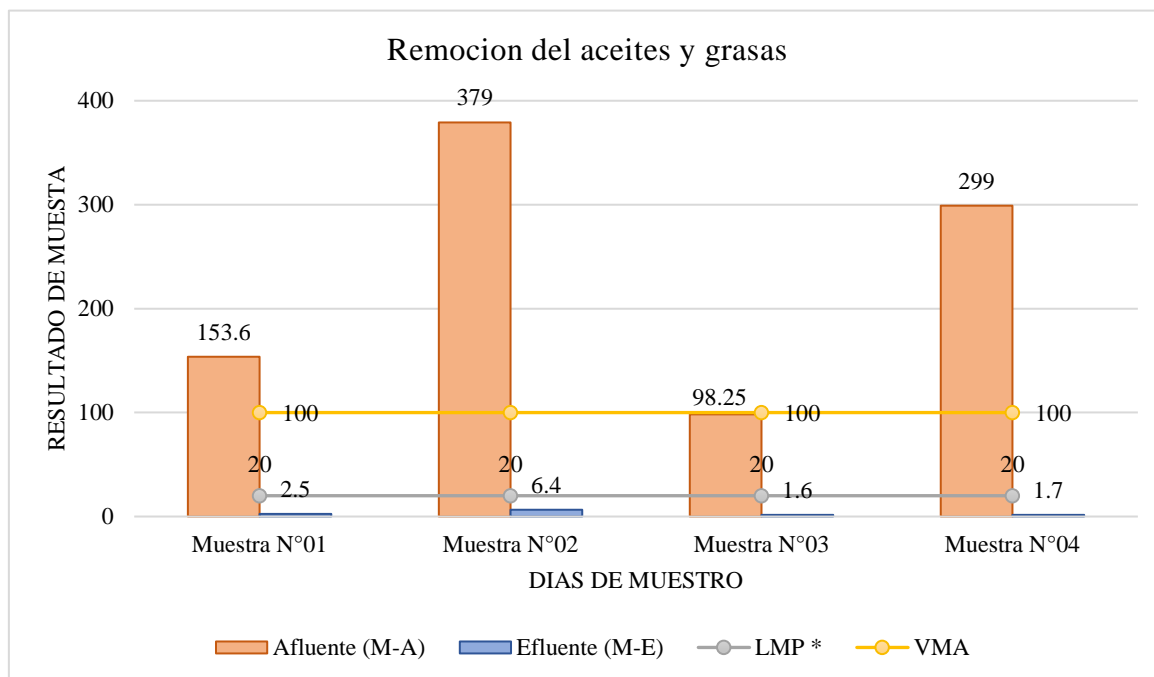
Aceites y grasas						
Días de muestro	Afluente (M-A)	Efluente (M-E)	Variación	Eficiencia de remoción	LMP *	VMA
Muestra N°01	153.6	2.5	151.1	98.4%		
Muestra N°02	379	6.4	372.6	98.3%	20	100
Muestra N°03	98.25	1.6	96.65	98.4%		
Muestra N°04	299	1.7	297.3	99.4%		
Promedio	232.5	3.1	229.4	98.62%		

*Nota.* Esta tabla muestra datos de aceites y grasas levantados en afluente y efluente y la comparación con LMP y VMA. Esta notable diferencia indica una remoción efectiva tras el paso por el prototipo, logrando una eficiencia promedio del 98.62% durante los cuatro días

de operación, tal como se muestra en la Tabla.25. \*valor tomado N° 003-2010-MINAM que aprueban LMP, 2010.

### Figura 16

*Análisis comparativo de la remoción aceites y grasa con los valores del reglamento (VMA y LMP)*



*Nota.* Esta figura muestra datos de aceites y grasas levantados en afluente y efluente y la comparación con LMP y VMA. En la figura 16 se observa los datos en barras de los resultados del laboratorio tanto del afluente y efluente de la remoción del agua gris en el prototipo del sistema de tratamiento hidráulico, y la comparación de los parámetros establecidos por las normas Límite Máximo Permisibles (LMP) y Valores Máximos Admisibles (VMA) que garantizan la calidad de agua tanto pre (evacuación al sistema de alcantarillado) y post tratamiento. \*valor tomado N° 003-2010-MINAM que aprueban LMP,2010.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).** La cantidad encontrada de demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) dentro del afluente (M-A) es de 952.03 mg/L y en cuanto al efluente (M-E) se tuvo 15.50 mg/L esto significa que hay una buena variación en la remoción al pasar por el prototipo.

**Tabla 26**

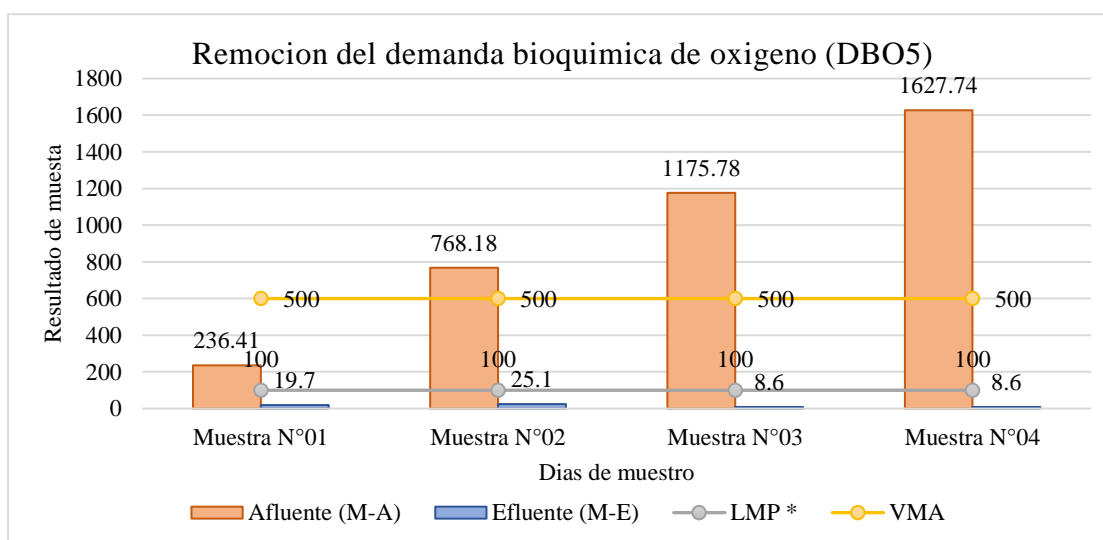
*Remoción del Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)*

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )						
Días de muestro	Afluente (M-A)	Efluente (M-E)	Variación	Eficiencia de remoción	LMP *	VMA
Muestra N°01	236.41	19.7	216.71	91.7%		
Muestra N°02	768.18	25.1	743.08	96.7%	100	500
Muestra N°03	1175.78	8.6	1167.18	99.3%		
Muestra N°04	1627.74	8.6	1619.14	99.5%		
Promedio	952.03	15.50	936.53	96.78%		

*Nota.* Esta tabla muestra una eficiencia promedio de 96.78% al ser evaluado los cuatro días operación como se detalla. \*valor tomado N° 003-2010-MINAM que aprueban LMP,2010.

**Figura 17**

*Análisis comparativo de la remoción DBO<sub>5</sub> con los valores del reglamento (VMA y LMP)*



*Nota.* Esta figura 17 se observa los datos en barras de los resultados del laboratorio tanto del afluente y efluente de la remoción del agua gris en el prototipo del sistema de tratamiento hidráulico, y la comparación de los parámetros establecidos por las normas Límite Máximo Permisibles (LMP) y Valores Máximos Admisibles (VMA) que garantizan la calidad de agua tanto pre (evacuación al sistema de alcantarillado) y post tratamiento. \*valor tomado N° 003-2010-MINAM que aprueban LMP,2010.

**Demanda Química de Oxígeno (DQO).** La cantidad encontrada de demanda química de oxígeno (DQO) dentro del afluente (M-A) es de 1901.80 mg/L y en cuanto al efluente (M-E) se tuvo 38.29 mg/L esto significa que hay una buena variación en la remoción al pasar por el prototipo.

**Tabla 27**

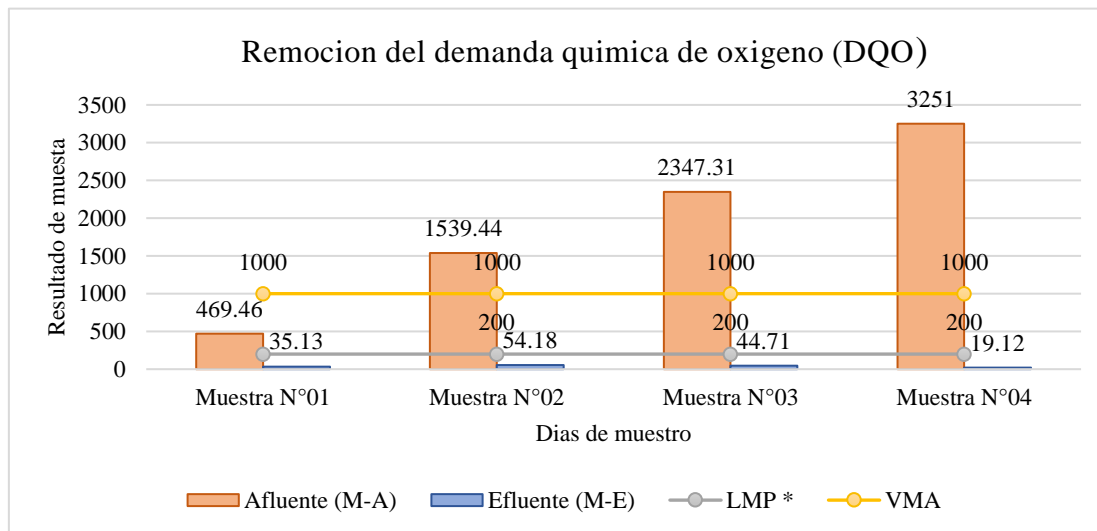
*Remoción de la demanda química de oxígeno (DQO).*

<b>Remoción del Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>						
<b>Días de muestro</b>	<b>Afluente (M-A)</b>	<b>Efluente (M-E)</b>	<b>Variación</b>	<b>Eficiencia de remoción</b>	<b>LMP *</b>	<b>VMA</b>
Muestra N°01	469.46	35.13	434.33	92.5%		
Muestra N°02	1539.44	54.18	1485.26	96.5%	200	1000
Muestra N°03	2347.31	44.71	2302.6	98.1%		
Muestra N°04	3251	19.12	3231.88	99.4%		
Promedio	1901.80	38.29	1863.52	96.63%		

*Nota.* Esta tabla muestra una eficiencia promedio de 96.63% al ser evaluado los cuatro días operación como se detalla. \*valor tomado N° 003-2010-MINAM que aprueban LMP,2010.

**Figura 18**

*Análisis comparativo de la remoción DQO con los valores del reglamento (VMA y LMP)*



*Nota.* Esta figura 18 se observa los datos en barras de los resultados del laboratorio tanto del afluente y efluente de la remoción del agua gris en el prototipo del sistema de tratamiento hidráulico, y la comparación de los parámetros establecidos por las normas Límite Máximo Permisibles (LMP) y Valores Máximos Admisibles (VMA) que garantizan la calidad de agua tanto pre (evacuación al sistema de alcantarillado) y post tratamiento. \*valor tomado N° 003-2010-MINAM que aprueban LMP,2010.

### Nitrógeno amoniacal.

**Tabla 28**

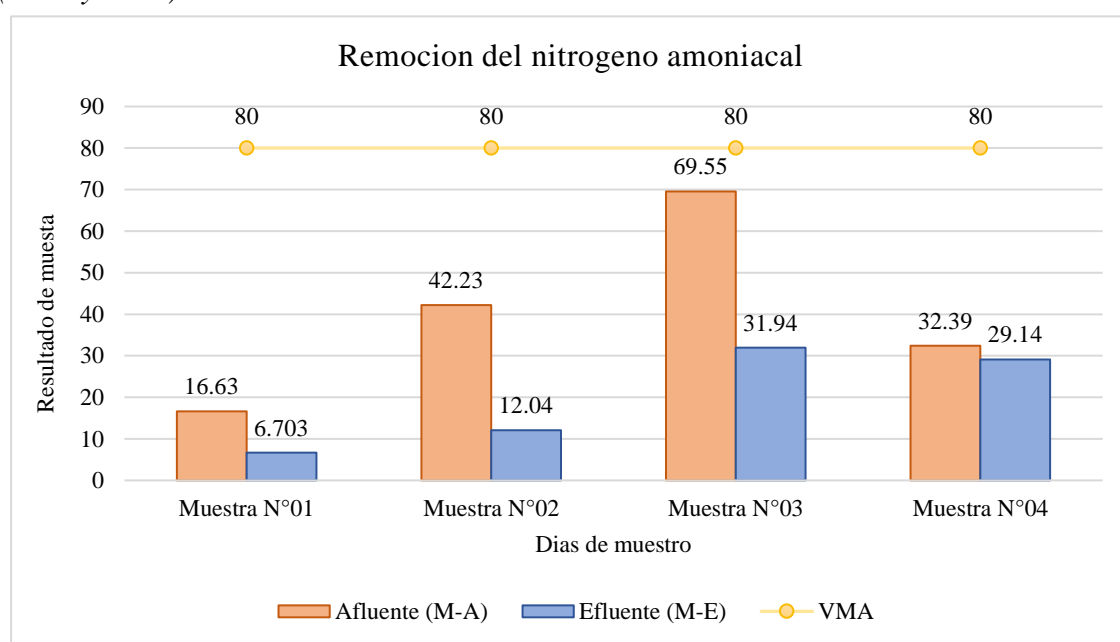
*Remoción del nitrógeno amoniacal*

Días de muestro	Nitrógeno amoniacal				VMA
	Afluente (M-A)	Efluente (M-E)	Variación	Eficiencia de remoción	
Muestra N°01	16.63	6.703	9.927	59.7%	80
Muestra N°02	42.23	12.04	30.19	71.5%	
Muestra N°03	69.55	31.94	37.61	54.1%	
Muestra N°04	32.39	29.14	3.25	10.0%	
<b>Promedio</b>	40.2	19.95	20.24	48.82%	

*Nota.* Esta tabla muestra la cantidad encontrada de nitrógeno amoniacal dentro del afluente (M-A) es de 40.2 mg/L y en cuanto al efluente (M-E) se tuvo 19.95 mg/L esto significa que hay una buena variación en la remoción al pasar por el prototipo, y una eficiencia promedio de 48.82% al ser evaluado los cuatro días operación como se detalla.

### Figura 19

*Análisis comparativo de la remoción nitrógeno amoniacal con los valores del reglamento (VMA y LMP)*



*Nota.* En la figura, se observa los datos en las barras de los resultados del laboratorio tanto del afluente y efluente de la remoción del agua gris en el prototipo del sistema de tratamiento hidráulico, y la comparación de los parámetros establecidos por la norma Valores Máximos Admisibles (VMA) que garantizan la calidad de agua tanto pre (evacuación al sistema de alcantarillado) y post tratamiento

**Solidos sedimentales.** La cantidad encontrada de solidos sedimentales dentro del afluente (M-A) es de 62.0 mg/L y en cuanto al efluente (M-E) se tuvo 0.01 mg/L esto significa que hay una variación considerable en la remoción al pasar por el prototipo.

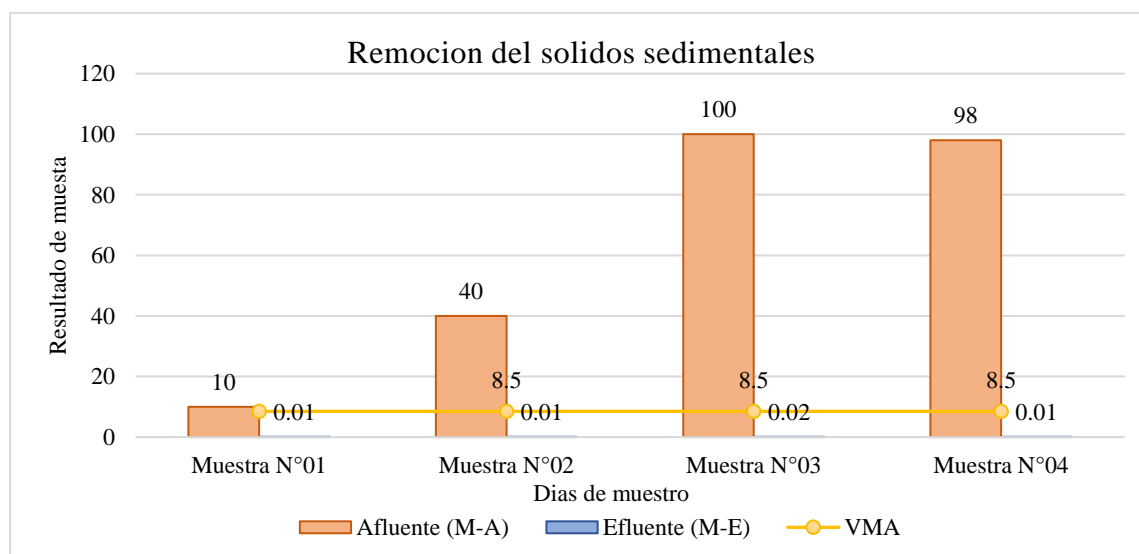
**Tabla 29***Remoción del sólidos sedimentales.*

Sólidos sedimentales					
Días de muestro	Afluyente (M-A)	Efluyente (M-E)	Variación	Eficiencia de remoción	VMA
Muestra N°01	10	0.01	9.99	99.9%	
Muestra N°02	40	0.01	39.99	100.0%	8.5
Muestra N°03	100	0.02	99.98	100.0%	
Muestra N°04	98	0.01	49.99	51.0%	
<b>Promedio</b>	62.00	0.01	49.99	87.72%	

*Nota.* Esta tabla muestra una eficiencia promedio de 87.72% de sólidos sedimentales al ser evaluado los cuatro días operación como se detalla.

**Figura 20**

*Análisis comparativo de la remoción sólidos sedimentales con los valores del reglamento (VMA y LMP)*



*Nota.* En la figura se observa los datos en barras de los resultados del laboratorio tanto del afluyente y efluyente de la remoción del agua gris en el prototipo del sistema de tratamiento hidráulico, y la comparación de los parámetros establecidos por la norma Valores Máximos Admisibles (VMA) que garantizan la calidad de agua tanto pre (evacuación al sistema de alcantarillado) y post tratamiento.

**Sólidos suspendidos totales.** La cantidad encontrada de sólidos suspendidos totales dentro del afluente (M-A) es de 661.25 mg/L y en cuanto al efluente (M-E) se tuvo 9.21 mg/L esto significa que hay una buena variación en la remoción al pasar por el prototipo.

**Tabla 30**

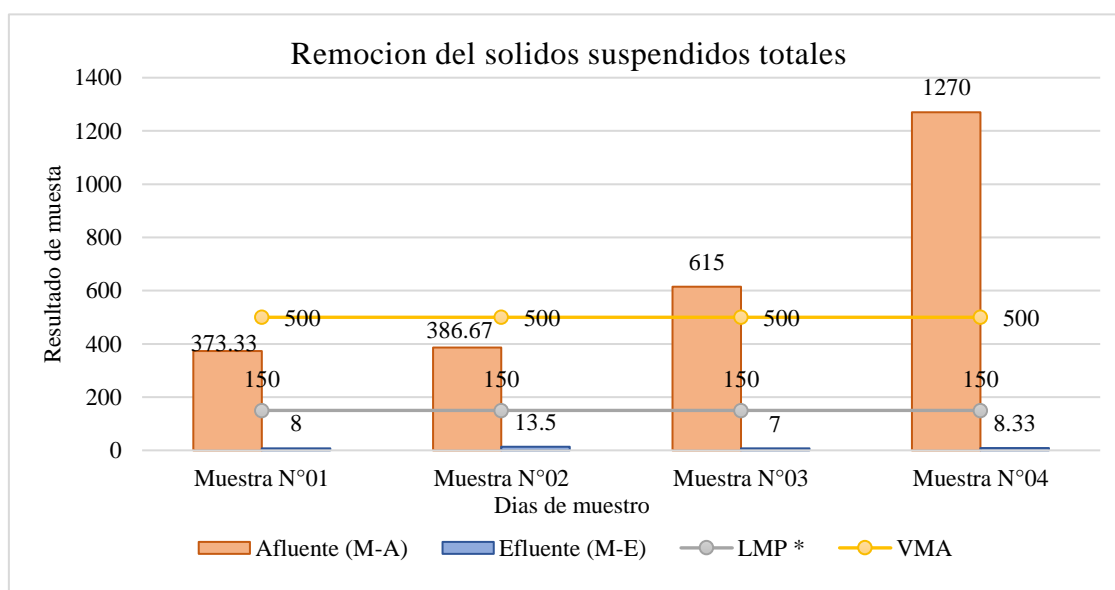
*Remoción de los sólidos suspendidos totales*

Remoción del Sólidos Suspendidos Totales						
Días de muestro	Afluente (M-A)	Efluente (M-E)	Variación	Eficiencia de remoción	LMP *	VMA
<b>Muestra N°01</b>	373.33	8	365.33	97.9%		
<b>Muestra N°02</b>	386.67	13.5	373.17	96.5%	150	500
<b>Muestra N°03</b>	615	7	608	98.9%		
<b>Muestra N°04</b>	1270	8.33	1261.67	99.3%		
<b>Promedio</b>	661.25	9.21	652.04	98.14%		

*Nota.* Esta tabla muestra la eficiencia promedio de 98.14% de sólidos suspendidos totales dentro al ser evaluado los cuatro días operación como se detalla. \* valore tomado N° 003-2010-MINAM que aprueban LMP,2010.

**Figura 21**

*Análisis comparativo de la remoción sólidos suspendidos totales con los valores del reglamento (VMA y LMP)*



*Nota.* Esta figura se observa los datos en barras de los resultados del laboratorio tanto del afluente y efluente de la remoción del agua gris en el prototipo del sistema de tratamiento hidráulico, y la comparación de los parámetros establecidos por las normas Límite Máximo Permisibles (LMP) y Valores Máximos Admisibles (VMA) que garantizan la calidad de agua tanto pre (evacuación al sistema de alcantarillado) y post tratamiento. \*valor tomado N° 003-2010-MINAM que aprueban LMP,2010.

### Potencial Hidrogeno (pH)

**Tabla 31**

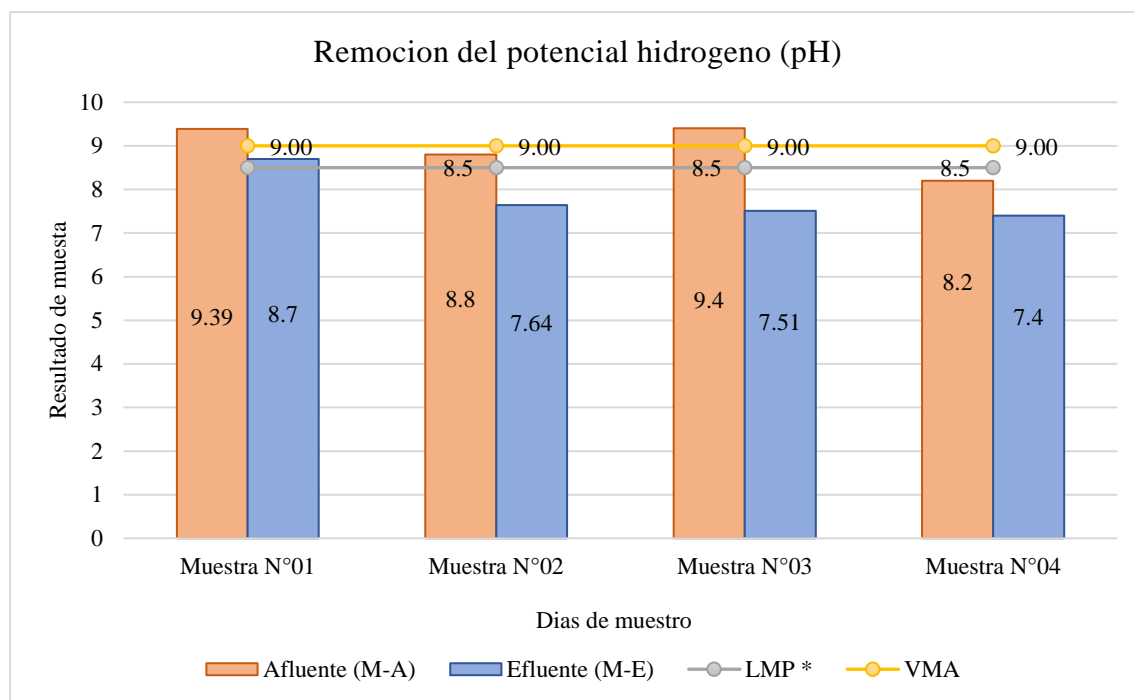
*Variación del potencial hidrogeno (pH)*

Potencial Hidrogeno (pH)					
Días de muestro	Afluente (M-A)	Efluente (M-E)	Variación	LMP *	VMA
Muestra N°01	9.39	8.7	0.69		
Muestra N°02	8.8	7.64	1.16	6.5-8.5	6-9
Muestra N°03	9.4	7.51	1.89		
Muestra N°04	8.2	7.4	0.8		
Promedio	8.95	7.81	1.14		

*Nota.* Esta tabla muestra la cantidad encontrada de potencial hidrogeno (pH) dentro del afluente (M-A) es de 8.95 unidad y en cuanto al efluente (M-E) se tuvo 7.81 unidades esto significa que hay pequeña variación promedio del pH de 1.14 unidades al pasar por el prototipo, al ser evaluado los cuatro días operación como se detalla en la tabla 31.\*valor tomado N° 003-2010-MINAM que aprueban LMP,2010.

**Figura 22**

*Análisis comparativo del pH con los valores del reglamento (VMA y LMP)*



*Nota.* Esta figura se observa los datos en barras de los resultados del laboratorio tanto del afluente y efluente de la remoción del agua gris en el prototipo del sistema de tratamiento hidráulico, y la comparación de los parámetros establecidos por las normas Límite Máximo Permisibles (LMP) y Valores Máximos Admisibles (VMA) que garantizan la calidad de agua tanto pre (evacuación al sistema de alcantarillado) y post tratamiento.\*valor tomado N° 003-2010-MINAM que aprueban LMP,2010.

**Temperatura (°C).** El grado de temperatura (°C). dentro del afluente (M-A) es de 20.20°C y en cuanto al efluente (M-E) se tuvo 19.88°C unidades esto significa que hay pequeña variación promedio de 0.32 °C de temperatura al pasar por el prototipo al ser evaluado los cuatro días operación como se detalla en la tabla 32.

**Tabla 32**  
Remoción del Temperatura (°C).

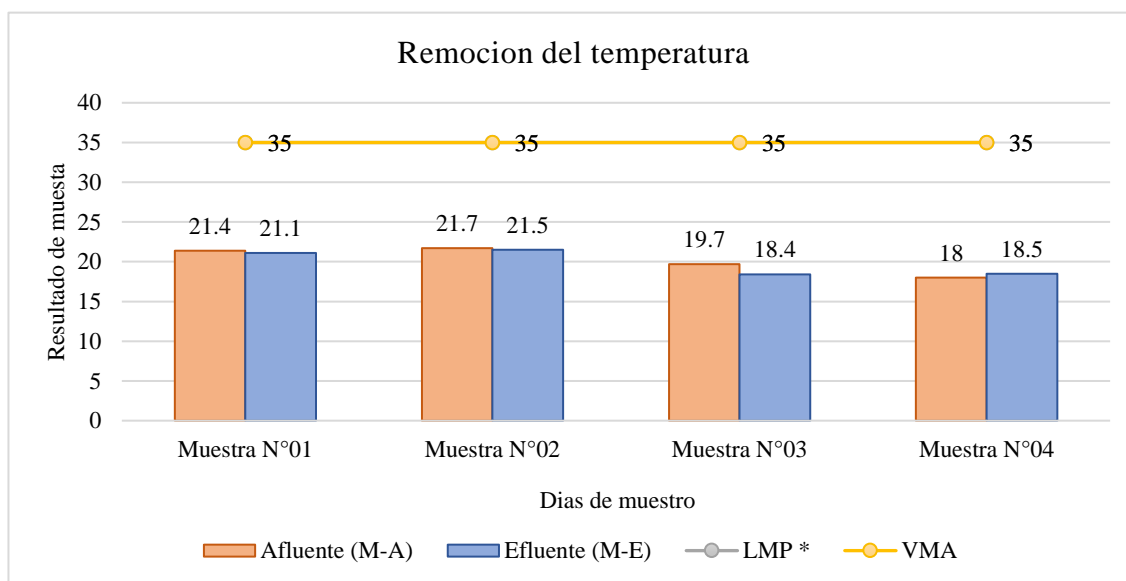
Temperatura (°C)					
Días de muestro	Afluyente (M-A)	Efluyente (M-E)	Variación	LMP *	VMA
Muestra N°01	21.4	21.1	0.3		
Muestra N°02	21.7	21.5	0.2	<35	<35
Muestra N°03	19.7	18.4	1.3		
Muestra N°04	18	18.5	-0.5		
Promedio	20.20	19.88	0.32		

*Nota.* Esta tabla muestra los datos registrados en el momento de la llegada al laboratorio.

\*valor tomado N° 003-2010-MINAM que aprueban LMP,2010.

**Figura 23**

*Análisis comparativo de la remoción °C con los valores del reglamento (VMA y LMP)*



*Nota.* En la figura se observa los datos en barras de los resultados del laboratorio tanto del afluyente y efluyente de la remoción del agua gris en el prototipo del sistema de tratamiento hidráulico, y la comparación de los parámetros establecidos por las normas Límite Máximo Permisibles (LMP) y Valores Máximos Admisibles (VMA) que garantizan la calidad de agua tanto pre (evacuación al sistema de alcantarillado) y post tratamiento.

### Respuesta al objetivo específico 3

“Determinar el caudal y el tiempo de retención hidráulica en el prototipo propuesto para reutilización de aguas grises”

En cuanto a este tercer objetivo es determinar el caudal y tiempo de retención hidráulica, estos dos parámetros medibles se realizaron mediante el método de observación del comportamiento del prototipo en función de la programación de la válvula a un 100%, 75%, 50%, 25% durante los cuatro días de operación de prototipo, a continuación, se detalla los resultados obtenidos:

**Válvula abierta 100%.** La configuración inicial del primer día de operación incluyó una válvula abierta al 100%, generando un caudal de 0.057 L/s y un tiempo de retención hidráulico de 5:55 minutos. Se observó que la retención de parámetros físico-químicos en las etapas de trampa de grasa, cámara de microburbujas y filtro multigranular era limitada. Esto se debió a la alta fuerza con la que ingresaba el caudal, lo que provocaba turbulencia y afectaba el funcionamiento óptimo de las tres cámaras del sistema de tratamiento hidráulico.

**Tabla 33**

*Muestra N°01: válvula abierta al 100%*

<b>Muestra N°01: válvula abierta al 100%</b>			
<b>Parámetros medibles</b>	<b>UND</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Resultado</b>
Caudal de ingreso de prototipo	L/s	26.2	0.057L/s
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	Trampa de grasa	min	2.37
	C. de microburbuja	min	1.5
	C. filtro multigranular	min	1.28

*Nota.* Esta tabla muestra la toma de muestra del ingreso de afluente y salida del efluente, al pesar de esto, la eficiencia promedio de remoción para aceites y grasas, DBO, DQO, SS y SST alcanzó un 96.06%, y para el nitrógeno amoniacal fue del 59.9%.

**Figura 24**

*Operación de muestra N°01 del prototipo al 100% de la válvula abierta*



*Nota.* En figura observamos el nivel de agua se encuentra a 30 cm en todo los de proceso (trampa de grasa, microburbujas y filtro multigranular) de sistema tratamiento hidráulico cubriendo las tuberías y no permitiendo desarrollo la eliminación de las cargas contaminantes del agua

**Válvula abierta 75%.** En el segundo día de operación, la válvula se configuró al 75%, con un caudal inicial de 0.049 L/s y un tiempo de retención de 7:43 minutos. Al igual que en la jornada previa, se constató una retención de parámetros fisicoquímicos deficiente debido a la turbulencia provocada por la fuerza del caudal de ingreso, lo que comprometía la funcionalidad de las tres etapas del sistema de tratamiento hidráulico.

**Tabla 34***Muestra N°02: Válvula abierta 75%*

<b>Muestra N°02: Válvula abierta 75%</b>			
<b>Parámetros medibles</b>	<b>Und</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Resultado</b>
Caudal de ingreso de prototipo	L/s	30.22	0.049 L/s
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	Trampa de grasa	min	1:04
	C. de microburbuja	min	1:59
	C. filtro multigranular	min	4:40

*Nota.* Esta tabla muestra la toma de muestra del ingreso de afluente y salida del efluente. Sin embargo, se registró una mejora en la eficiencia de remoción, alcanzando un promedio del 97.06% para aceites y grasas, DBO, DQO, SS y SST, y un 71.49% para nitrógeno amoniacal.

**Figura 25***Operación de muestra N°02 del prototipo al 75% de la válvula abierta*

*Nota.* Esta figura muestra el nivel de agua gris se encuentra a 30 cm en todo los de proceso (trampa de grasa, microburbujas y filtro multigranular) de sistema tratamiento hidráulico cubriendo las tuberías y no permitiendo desarrollo la eliminación de las cargas contaminantes del agua.

**Válvula abierta 50%.** Durante el tercer día de operación, la válvula de control se ajustó al 50% de apertura, resultando en un caudal inicial de 0.0282 L/s y un tiempo de retención hidráulico de 11 minutos y 14 segundos. Esto se debió a que la disminución en la fuerza del caudal de ingreso redujo la turbulencia, permitiendo una mayor funcionalidad de las tres etapas del prototipo del sistema de tratamiento hidráulico. En cuanto a la eficiencia, se registró una remoción promedio del 98.92% para aceites y grasas, DBO, DQO, SS y SST, mientras que la remoción de nitrógeno amoniacal fue del 54.08%.

**Tabla 35**

*Muestra N°03 - válvula abierta: 50%*

<b>Muestra N°03 - válvula abierta: 50%</b>			
<b>Parámetros medibles</b>	<b>Und</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Resultado</b>
Caudal de ingreso de prototipo	L/s	53.05	0.0282L/s
Trampa de grasa	min	3.17	
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	C. de microburbuja	min	3.51
	C. filtro multigranular	min	4.06
			11:14min

*Nota.* Esta tabla se observó un incremento en la remoción de parámetros fisicoquímicos por parte de la trampa de grasa, la cámara de microburbujas y la cámara de filtro multigranular,

## Figura 26

*Operación de muestra N°03 del prototipo al 50% de la válvula abierta*



*Nota.* Observamos en esta figura el mejor comportamiento de la trampa de grasa en decantar los sólidos sedimentales (sustancias orgánicas e inorgánicas) y pasas con poca densidad al proceso de microburbujas, de igual manera el nivel de agua está a 30 cm en todo los de proceso (trampa de grasa, microburbujas y filtro multigranular) de sistema tratamiento hidráulico cubriendo las tuberías por facto del caudal.

**Válvula abierta 25%.** El cuarto día de operación se configuro la válvula abierta a un 25% de control, con un caudal inicial de 0.0178 L/s y tiempo de retención hidráulico de 51:55min, ya que el caudal al ingresa bajo su fuerza, esta disminuye la turbulencia y da a un buen funcionamiento de las tres etapas del prototipo del sistema de tratamiento hidráulico, también se observó la eficiencia de los parámetros aceites y grasas, DBO, DQO, SS y SST tuvo una buena remoción promedio de un 99.53% y en cuanto al nitrógeno amoniacal un 10.03%.

**Tabla 36***Muestra N°04 - válvula abierta: 25%*

<b>Muestra N°04 - válvula abierta: 25%</b>				
<b>Parámetros medibles</b>	<b>Und</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Resultado</b>	
Caudal de ingreso de prototipo	L/s	84	0.0178 L/s	
Trampa de grasa	min	17.23		
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	C. de microburbuja	min	29.24	51:55min
	C. filtro multigranular	min	5.08	

*Nota.* Esta tabla muestra la toma de muestra del ingreso de afluente y salida del efluente, en cuanto al comportamiento de retención de los parámetros físico – químicos por la trampa de grasa, cámara de microburbujas y cámara filtro multigranular es mucho mejor como se observa en la tabla 36,

En las figuras 27, 28 y 29 observamos el comportamiento adecuado en todos los procesos (trampa de grasa, microburbujas y filtro multigranular), el nivel de agua se encuentra en lo requerido sin tapar las tuberías de los procesos del sistema tratamiento hidráulico eliminando las cargas de contaminantes del agua gris.

**Figura 27***Operación de muestra N°04 del prototipo al 25% de la válvula abierta*

*Nota.* Esta figura muestra el adecuado funcionamiento del prototipo en las tres cámaras.

### **Figura 28**

*Comportamiento de la cámara de filtración*



*Nota.* Esta figura muestra el comportamiento de la cámara de multigranular con sus tres lechos filtrantes (arena, carbón activado y zeolita).

### **Figura 29**

*Comportamiento de la trampa de grasa*



*Nota.* Esta figura muestra el comportamiento de la cámara trampa de grasa, se observa la sedimentación de las partículas del agua gris.

### 5.1.3. Respuesta al objetivo general

“Determinar la eficiencia del prototipo propuesto del sistema tratamiento hidráulico de la reutilización de aguas grises en el Apurímac en el sector de Abancay, 2023”

**Tabla 37**

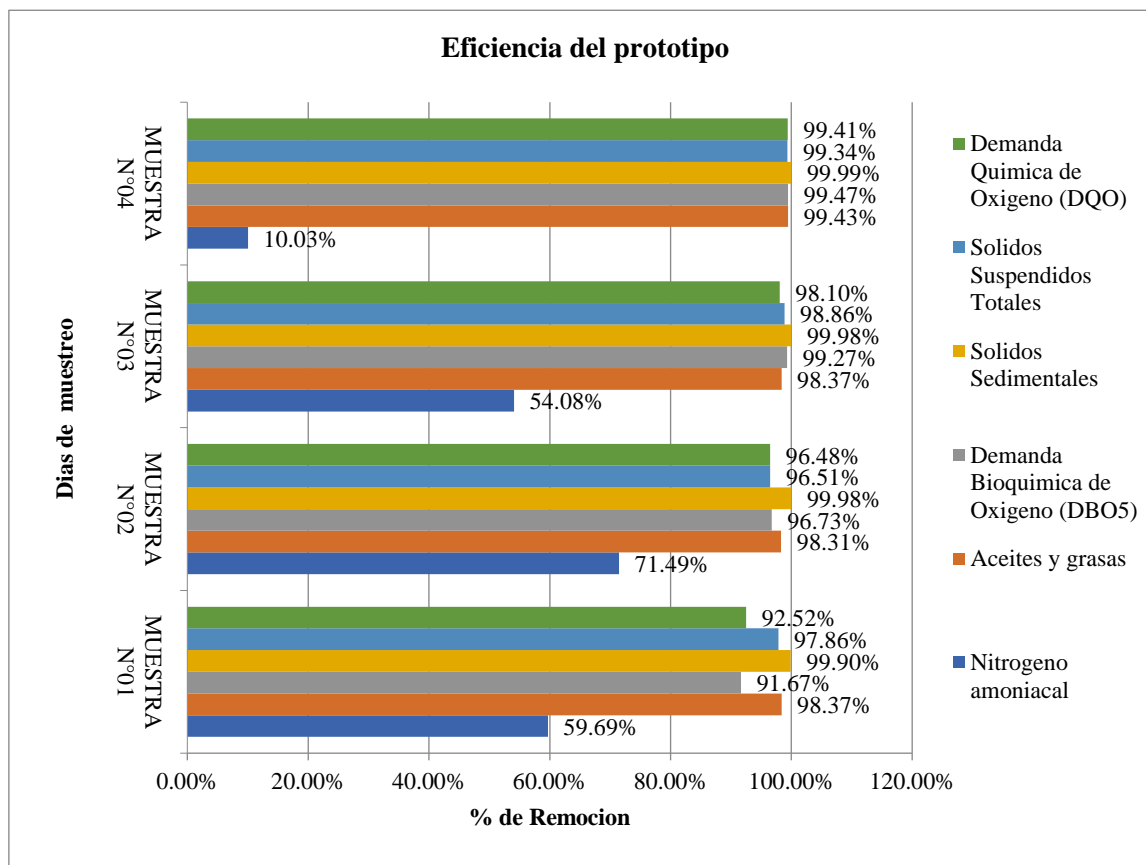
*Eficiencia del prototipo del sistema de tratamiento hidráulico*

Parámetros Físico - Químico	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra
	N°01	N°02	N°03	N°04
Nitrógeno amoniacal	59.69%	71.49%	54.08%	10.03%
Aceites y grasas	98.37%	98.31%	98.37%	99.43%
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	91.67%	96.73%	99.27%	99.47%
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	92.52%	96.48%	98.10%	99.41%
Sólidos Sedimentales	99.90%	99.98%	99.98%	99.99%
Sólidos Suspendidos Totales	97.86%	96.51%	98.86%	99.34%

*Nota.* Esta tabla muestra el promedio de las muestras recogidas en los cuadros días de evaluación. La respuesta del objetivo principal de esta investigación es determinar la eficiencia de prototipo, por lo que al evaluar durante cuatro días de operación se extrajo seis muestras que se envió al laboratorio LOUIS PASTEUR, al obtener los resultados en gabinete se aplicó la fórmula 8 para así obtener la eficiencia de todos los parámetros como se muestra en la tabla 37.

**Figura 30**

*Análisis comparativo eficiencia de los parámetros físico - químicos por día de muestra*



*Nota.* Esta figura muestra el promedio de las muestras recogidas en los cuadros días de evaluación.

## 5.2 Discusión de resultados

Los resultados de esta investigación se analizan con el fin de evaluar la efectividad del prototipo de sistema de tratamiento hidráulico propuesto, enfocado en la reutilización de aguas grises en un centro comercial. La investigación persigue dos metas fundamentales: por un lado, fomentar el ahorro de agua a través de su reutilización en servicios sanitarios o riego de áreas verdes, y por otro, mitigar los costos de mantenimiento derivados de obstrucciones en las tuberías. Para lograr un mayor énfasis, estos hallazgos se compararán con estudios anteriores

Asimismo, respecto a la discusión del resultado del objetivo 1, para el diseño de prototipo primeramente se estudió que tipo de concentraciones contaminantes tienes el agua a estudiar y que reglamentos la rigen para su control, de ahí dimensionar cada proceso (reactor) y finalmente escalar es prototipo a un modelo utilizando similitud hidráulica. Durante las pruebas de análisis, el diseño propuesto del sistema de tratamiento hidráulico demostró una eficiencia del 89.83% en la eliminación de contaminantes fisicoquímicos. Esta capacidad permite la reutilización del agua para actividades como el uso en baños y la limpieza, lo que se traduce en una reducción del consumo diario de 4363.10 l/d.

Por otro lado, en el artículo científico “relacion de solidos sedimentales con la eficiencia de las trampas de grasa ( desengrasadores)” las aguas residuales comerciales de cafeterias, en su diseño se llego a concluir que los sólidos sedimentados y las grasas acumuladas en la trampa de grasas afectan significativamente la eficiencia del pretratamiento, en cambio en nuestra investigacion la caracteristica del agua tenias mas solidos sedimentales y un poco de grasa, por lo tanto el diseño del prototipo propuesto se diseño con tres procesos fisicos que prolongan el proceso de tratamiento en retener los contaminates, con el fin de llegar a recuperar la calidad agua durante los dias de operación que mantuvieron su eficiencia.

Zapata (2018) en su investigación plantea su diseño tres decantadores, un filtro de arena y luz UV con él se optó en eliminar los contaminantes, como herramientas para su diseño considero el diagrama de actividades de proceso, catálogo de partes y hojas de informe de análisis físico-químicos y análisis físico sensorial en las que sirvió para llegar al objetivo de su investigación. En cambio, para la investigación se consideró el diagrama de proceso desde la toma de los aparatos que generen aguas grises hasta la reutilización de ella, es fundamental considerar los desfogue tanto para la limpieza como para el manejo del

exceso de agua, ya que estos aspectos son cruciales para asegurar el correcto funcionamiento del sistema de tratamiento

Procedemos ahora a la discusión del objetivo 2, la cual abordará en detalle las características físico-químicas de las aguas grises y su comportamiento durante el proceso de remoción en el sistema del prototipo los parametros elegidos se baso a reglamento de valores maximo admisibles que se rige para el control de la reutilizacion de aguas pues al evaluar estos parametros llegamos obtener lo requerido de esta inestigacion.

En su investigación Zapata (2018), al análisis de los parámetros fisicoquímicos mostró una remoción promedio del 16.50%, mientras que la remoción de los parámetros sensoriales fue considerablemente mayor, con un 82.01%. Estas cifras se alinean con los Límites Máximos Permisibles (LMP) definidos en el DS N°015-2015-MINAN para el riego de cultivos de tallo alto; y Rojas (2018) en su investigación evalúa solo los parámetros físico-químico llegando a reducir la remoción en 50-70 % de contaminantes basándose al DS.N°003-2010-MINAN que cumplen LMP para efluentes de planta de tratamiento de aguas residuales o municipales , por lo tanto, la decisión de evaluar de cierto parámetro depende mucho del tipo de agua con la se esté trabajando, la presente investigación se fundamenta en la normativa de VMA sobre descargas de aguas residuales no domésticas, tomando como referencia principal el Anexo N°01 de dicho reglamento, teniendo una remoción del prototipo propuesto del sistema de tratamiento hidráulico en contaminantes del agua en un promedio de 98.03% en los parámetros físico - químicos mientras solo en el parámetro nitrógeno amoniacal solo se redujo a 48.82%.

Asimismo, la discusión del objetivo 3 en evaluar el caudal y el tiempo de retención fue fundamental para esta investigación ya que nos sirvió observar el comportamiento del prototipo en relación con el agua a ser tratada, entonces para un mayor control del prototipo

se instaló una válvula de control de caudal vinculado a eso se determinó mientras mayor sea el caudal disminuye la eficiencia del sistema de tratamiento hidráulico, a menor caudal aumenta la eficiencia, y mantiene un buen funcionamiento de los procesos planteados dentro del prototipo.

En la investigación Ayquipa (2021) concluyo que la eficiencia de remocion de los parametros físicos – quimicos esta relacionado con el caudal teniendo una relacion inversamente a menor caudal mayor retencion, por lo tanto, en nuestra investigacio mantuvo esa relacion inversamente proporcional entre el caudal a un 0.0178 L/s y una remocion promedio 99.53%. Por otra parte, tambien influye la remocion de los parametros fisico – quimicos en el tiempo de retencion hidraulico manteniendo una relacion directamente proporcional, en la investigacion tuvo un tiempo de retencion hidraulica de 51:55 min y se obtuvo mayor remocion en los parametros.

### 5.3 Prueba de hipótesis

Los resultados de esta investigación permitieron la comprobación de las hipótesis propuestas utilizando el software estadístico SPSS. Se inició con una evaluación de la normalidad de los datos a través del test de Shapiro-Wilk (para muestras menores a 30). En función de estos resultados, se procedió a utilizar la prueba T de Student (para muestras independientes y relacionadas) y la correlación de Spearman para muestras no paramétricas

Los siguientes párrafos presentan la explicación del proceso y los resultados derivados de la prueba de hipótesis de este estudio.

#### 5.3.1. Hipótesis específica 1

**Variable: La remoción de los parámetros físico – químicos.**

**Tabla 38**

*Resultado de la evaluación de hipótesis 1 (remoción de los parámetros físico – químicos)*

<b>Planteamiento de hipótesis</b>						
H <sub>0</sub> ( $\mu_1 = \mu_2$ ): La remoción de los parámetros físico - químicos no tiene efecto en el prototipo propuesto del sistema tratamiento hidráulico en la reutilización de aguas grises en el Centro Comercial						
H <sub>a</sub> ( $\mu_1 \neq \mu_2$ ): La remoción de los parámetros físico - químicos tiene efecto en el prototipo propuesto del sistema tratamiento hidráulico en la reutilización de aguas grises en el Centro Comercial						
<b>Prueba de normalidad (Shapiro - Wilk)</b>						
Estadístico	GL	P	P>0.05	$\alpha =$ % de nivel significancia base	Varianza	Media
0.937	4	0.6351	Este resultado confirma que lo datos siguen una	5%	16290.034	229.413
0.996		0.9839			358239.856	936.528
0.997		0.9896			1416955.01	1863.518
0.915		0.5099			265.246	20.244

0.961	0.7827	distribución	1399.667	49.988
0.804	0.1101	normal	177853.120	652.043
0.888	0.3754		0.294	1.135
0.954	0.7414		0.549	0.325

---

**Prueba T Student para muestras relacionadas**

---

	Estadístico	Grados de libertad	P	Diferencia de medias	IC 95%	
					Inferior	Superior
Remoción AyG	3.595		0.018	229.413	26.321	432.504
Remoción DBO	3.129		0.026	936.528	-15.870	1888.925
Remoción DQO	3.131		0.026	1863.518	-30.610	3757.645
Remoción NA	2.486	3	0.044	20.244	-5.671	46.159
Remoción SS	2.672		0.038	49.988	-9.544	109.519
Remoción SST	3.092		0.027	652.043	-19.018	1323.103
Variación pH	4.189		0.012	1.135	0.273	1.997
Variación °C	0.877		0.022	0.325	-0.854	1.504

---

**Decisión**

---

Como  $p = 0.00 < 0.05$ , por lo tanto, rechazamos la  $H_0$  y aceptamos la  $H_a$  La remoción de los parámetros físico - químicos tiene efecto en el prototipo propuesto del sistema tratamiento hidráulico en la reutilización de aguas grises en el Centro Comercial

*Nota.* Esta tabla muestra la comprobación de la hipótesis uno de la investigación mediante software estadístico SPSS. La hipótesis referente a la remoción de parámetros fisicoquímicos se contrastó mediante la prueba T de Student para muestras relacionadas, comparando los datos de pre y post muestreo para los ocho parámetros analizados. Se trabajó con un 95% de confiabilidad. La Tabla 38, que indica una distribución normal al 5% de nivel de significancia, presenta los resultados de esta evaluación.

### 5.3.2. Hipótesis específica 2

**Variable: El caudal y tiempo de retención hidráulica.**

**Tabla 39**

*Resultado de la evaluación de hipótesis 2 (caudal y tiempo de retención hidráulica)*

<b>Planteamiento de hipótesis</b>						
H <sub>0</sub> ( $\mu_1 = \mu_2$ ): El caudal y tiempo de retención hidráulica no influye en el prototipo del sistema de tratamiento hidráulico en la reutilización de aguas grises en el centro comercial.						
H <sub>a</sub> ( $\mu_1 \neq \mu_2$ ): El caudal y el tiempo de retención hidráulica influye en el prototipo del sistema de tratamiento hidráulico en la reutilización de aguas grises en el centro comercial						
<b>Prueba de normalidad (Shapiro - Wilk)</b>						
Estadístico	Gl	P	P<0.05	$\alpha =$ % de nivel significancia base	Varianza	Media
0.924	4	0.557	Este resultado confirma que los datos no siguen una distribución normal	5%	570.79	19.93
0.716	4	0.018			0.0003	0.038
<b>Prueba correlación de Spearman</b>						
	$\rho$	Grados de libertad		P		
Relación entre caudal y tiempo de retención hidráulico	-1.000**	4		0.000		

#### **Decisión**

Como  $p = 0 < 0,05$ , por lo tanto, existe relación significativa entre caudal y el tiempo de retención hidráulica que influye en el prototipo del sistema de tratamiento hidráulico en la reutilización de aguas grises en el centro comercial, además la relación es alta ( $\rho = -1.000^{**}$ )

*Nota.* Esta tabla muestra la comprobación de la hipótesis dos de la investigación mediante software estadístico SPSS. Para esta hipótesis se examinó la relación entre las variables, se recurrió a la prueba de correlación de Spearman que existe en estas dos variables, ya que no mostro una distribución dispereja en cuanto el tiempo de retención hidráulica se consideró muestra no paramétrica, por tal condición se evaluó por Spearman, como de detalla en siguiente tabla 39.

### 5.3.3. Hipótesis general

**Variable: La eficiencia.**

**Tabla 40**

*Resultado de la evaluación de hipótesis general (eficiencia)*

<b>Planteamiento de hipótesis</b>						
H <sub>0</sub> :( $\mu_1 = \mu_2$ ): El prototipo propuesto del sistema tratamiento hidráulico no es eficiente en la reutilización de aguas grises en el Centro Comercial						
H <sub>a</sub> :( $\mu_1 \neq \mu_2$ ): El prototipo propuesto del sistema tratamiento hidráulico es eficiente en la reutilización de aguas grises en el Centro Comercial						
<b>Prueba de normalidad (Shapiro - Wilk)</b>						
Estadístico	GL	P	P>0.05			
0.954	4	0.743	Este resultado confirma que lo datos siguen una distribución normal			
<b>Prueba T Student para una muestra</b>						
Eficiencia %	Estadístico	Grados de libertad	P	Diferencia de medias	IC 95%	
	127.37	3	0.00	98.03	Inferior 95.58	Superior 100.48
<b>Decisión</b>						
Como $p = 0.00 < 0.05$ , por lo tanto, rechazamos la H <sub>0</sub> y aceptamos la H <sub>a</sub> = El prototipo propuesto del sistema tratamiento hidráulico es eficiente en la reutilización de aguas grises en el Centro Comercial						

*Nota.* Esta tabla muestra la comprobación de la hipótesis general de la investigación mediante software estadístico SPS. Para esta hipótesis se empleó la prueba T Student para muestras independiente, como se detalla en la tabla 40 el planteamiento, prueba de normalidad y el tipo de prueba evaluar. En efecto presenta una distribución normal lo que indica ser muestra paramétrica.

## VI Conclusiones

Los resultados obtenidos en esta investigación pueden ser utilizados como base para la implementación de sistemas de tratamiento de aguas grises en áreas con características análogas. Esto abarca desde centros comerciales y hoteles hasta colegios y otras entidades públicas y privadas, tanto en Abancay como en otras regiones. Así, este estudio contribuirá a la formulación de estrategias más eficaces y sostenibles para la gestión hídrica, promoviendo la planificación e instalación de sistemas de tratamiento de aguas grises a escala de micro redes sanitaria.

Objetivo específico 1, se concluyó con respecto al diseño del sistema de tratamiento hidráulico propuesto, que integra los procesos de trampa de grasa, microburbujas y sistemas multigranulares, demostró ser funcional al mantener una eficiencia constante durante los días de prueba. Esto valida su implementación en el centro comercial, no solo para reducir el consumo de agua potable, sino también como un modelo sostenible replicable en otras instalaciones comerciales y residenciales. La recolección y análisis de datos sobre la calidad del agua tratada y su viabilidad para usos no potables permitirán evaluar la eficacia del sistema, proporcionando información valiosa para futuras aplicaciones.

Objetivo específico 2, en cuanto la remoción de los parámetros físico – químicos durante se concluyó que durante los cuatro días de operación se tuvo una remoción promedio de 89.83%, y cada parámetro obtuvo a un 98.62% en aceites y grasa, 96.78% en DBO<sub>5</sub>, 96.63% en DQO, 48.82% en nitrógeno amoniacal, 87.72% en solidos sedimentales, 98.14% en Solidos suspendidos totales, 7.81 unidades de pH, 19.88 °C en temperatura, y en comparación con el reglamento de VMA el resultados del efluente fue inferior a los parámetros de concentración de sustancias contaminadas esto determinaría la eficiencia de este diseño propuesto, por otro lado la mejor remoción que se tuvo fue al cuarto día de prueba

a un 25% de cierre de la válvula con una remoción promedio de ese día 99.53% y nitrógeno amoniacal a un 10.03%.

Objetivo específico 3, en cuanto al caudal y tiempo de retención hidráulico del sistema de tratamiento hidráulico se concluyó que el cuarto día a un 25% de cierre de la válvula de la prueba se observó mejor funcionamiento del prototipo en la retención de contaminantes con un caudal de 0.0178L/s y 51:55min de tiempo de retención hidráulica concluyendo que mantienen una relación inversamente proporcional entre estos dos parámetros medibles, por otra parte, la validación estadística por el método de correlación de Spearman afirman que tiene una relación inversamente proporcional.

Objetivo general, el prototipo del sistema de tratamiento hidráulico demostró ser eficiente, cumpliendo con los objetivos específicos de diseño planteados. Logró una remoción de parámetros fisicoquímicos, un manejo adecuado del caudal y un tiempo de retención hidráulica óptimos. Específicamente, al cuarto día de operación, el sistema alcanzó una eficiencia del 84.61%, evidenciando su capacidad para reducir las concentraciones de contaminantes. Como resultado, se mejora la gestión del agua y se logra una disminución del 47.90% en la dotación de agua del centro comercial.

La investigación está organizada de manera lógica, comenzando con una revisión de la literatura, seguida de la descripción de la metodología, discusión de los resultados, y finalizando con conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas.

## VII Recomendaciones

1. Respecto al objetivo específico 1, para el diseño del sistema de tratamiento hidráulico, se recurrió a fuentes que validaron la viabilidad del prototipo propuesto. Se recomienda evaluar detalladamente el lugar de estudio y las actividades que se desarrollan para una implementación exitosa del sistema de reutilización de agua. Es fundamental considerar los cálculos de disponibilidad y demanda del agua a investigar. Asimismo, sugerimos que la instalación del prototipo se guíe por un diagrama de flujo que abarque desde la recolección y análisis de datos sobre la calidad del agua tratada, hasta la evaluación de su eficiencia y viabilidad para usos no potables.
2. Respecto al objetivo específico 2, el prototipo del sistema de tratamiento hidráulico demostró buena remoción en los parámetros físico – químicos evaluados durante los días evaluados, se recomienda para otras investigaciones evaluar más días para ver el comportamiento detallado de los procesos o también podrían analizar por cada proceso su remoción, por otra parte, se sugiere seguir las consideraciones y recomendaciones de los especialistas del laboratorio acreditado por INACAL en cuanto a la toma, sellado (lacrado) y envío de muestras. Esto asegurará una evaluación de alta calidad y proporcionará fuentes confiables para futuras investigaciones.
3. Respecto al objetivo específico 3, se recomienda para el caudal y tiempo de retención hidráulica debe tener un depósito tanto para retención de agua contaminada y para recolección de agua tratada que ayudara a una mejor evaluación del prototipo. En cuando si desean aplicar este sistema también deben considerar depósitos (retención y recolección) y un sistema desfogue para su limpieza ya que estas aguas no deben de estar estancadas por que generarían molestias malos olores.

## VIII Referencias Bibliográficas

- Anaya Melendez, F., Espinoza Descalzo, E. N., Loayza Perez, J. E., Zamudio Castillo, R. A., & Yañez Lopez, M. A. (2022). Diseño de un sistema de tratamiento de aguas grises claras para reuso como agua de riego. *Revista Dialnet*, 52-62. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9544300>
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación - Introducción a la metodología de la investigación*. Editorial Epiteme. [https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=W5n0BgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA11&dq=fidias+g.+arias+\(2012\)+investigacion+exploratoria&ots=kZjNgpvuq5&sig=eI3XDZUP6QoRjmX8GJ5JIFpJ0b4#v=onepage&q=fidias%20g.%20arias%20\(2012\)%20investigacion%20exploratoria&f=false](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=W5n0BgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA11&dq=fidias+g.+arias+(2012)+investigacion+exploratoria&ots=kZjNgpvuq5&sig=eI3XDZUP6QoRjmX8GJ5JIFpJ0b4#v=onepage&q=fidias%20g.%20arias%20(2012)%20investigacion%20exploratoria&f=false)
- Asociación Española de empresas de tratamiento y control de aguas. (2016). Guía Técnica de recomendación para el reciclaje de aguas grises en edificios (AQUA España). <https://aguaespana.org/sites/default/files/documents/files/Guia.tecnica%20grises.pdf>
- Ayquipa Conde, N. Z. (2021). *Evaluación de la eficiencia de una trampa de grasa (interceptor de grasa hidromecánico) para el pretratamiento de aguas residuales grises en viviendas unifamiliares del distrito de Lares-Cusco - 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Universidad Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11474>
- Bello U., M. A., & Pino Q., M. T. (2000). *Medición de presión y caudal*. Editorial Regional de investigación Kampenaike. <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/6413014a-822b-4c17-bcaf-51605948bc7f/content>

- Camacho, N. C. (2011). Tratamiento de agua para consumo. *Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*.  
<https://www.redalyc.org/pdf/3374/337428495008.pdf>
- Castillo Cortes, M., Coto Campos, J. M., & Herrera Nuñez, J. (2012). Desecho líquidos: El caso de las salas de belleza. *Revista UNICIENCIA*, 23-27.  
<https://www.redalyc.org/pdf/4759/475947764003.pdf>.
- Castro Maldonado, J. J., Gómez Macho, L. K., & Camargo Casallas, E. (2022). La investigación aplicada y el desarrollo experimental en la fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. *Revista Educacion*.  
<https://doi.org/10.14483/22487638.19171>.
- Chavez Aparicio, E. A., & Mayhua Benavides, C. J. (2019). *Diseño de un sistema de reutilización de aguas grises y aprovechamiento de aguas pluviales para un proyecto urbanístico de 12 hectáreas ubicado en el distrito de Pimentel – Chiclayo – Lambayeque. Lima – Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Martín de Porres]. Repositorio académico Universidad de San Martín de Porres.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12727/6033>.
- Chinchilla Paniagua, M. (2016). Relación de sólidos sedimentales con eficiencia de la trampa de grasa (desengradores). *Revista de Agua, Saneamiento y Ambiente* Vol.11,40-49. <https://revistas.usac.edu.gt/index.php/asa/article/view/1443/913>.
- Cruz, F. J. (2011). *Decantación y flotación*. Editorial Universidad Politécnica de Cartagena.  
[https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/12609/mod\\_resource/content/1/Tema%2005%20DECANTACION%20Y%20FLOTACION.pdf](https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/12609/mod_resource/content/1/Tema%2005%20DECANTACION%20Y%20FLOTACION.pdf)

- Díaz Cuenca, E., Alvarado Granados, A. R., & Camacho Calzada, K. E. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Revista de Estudios Territoriales*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40123894005>
- Díaz Jave, J., & Esquivel Lizana, M. A. (2023). *Propuesta de diseño de un sistema para reutilizar las aguas grises en una residencial, Trujillo - 2023*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio institucional Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/39652>
- Díaz Oviedo, J. J., & Ramírez Mieles, L. Y. (2016). *Diseño de un sistema de tratamiento y reutilización del agua de la lavadora aplicado a los hogares de Bogotá D.C.* [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio institucional Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3140/D%C3%ADazOviedoJhonJairo2016.pdf?sequence=1>
- Díaz, M. A., Decinti, A., Blanco, D., & Vasquez, K. (2021). Metodología para la reutilización de aguas grises en viviendas ubicadas en áreas de estrés hídrico y estrés hídrico extremo - Caracterización, calidad y opciones de tratamiento para su reuso en Chile. *Informes De La Construcción*, 73(563). <https://doi.org/10.3989/ic.80823>
- Flores, L. P. (2020). *Análisis de la eficiencia del sistema de tratamiento para la reutilización de agua residuales en la cervecera Backus*. [Tesis de maestría, Universidad Señor de Sipan]. Repositorio institucional de Universidad Señor de Sipan. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/7343>

- García, J. (1982). *El reúso del Agua y sus Implicaciones*.  
[www.mty.itesm.mx/die/ddre/transferecia/Transferencia52/eli4-52.html](http://www.mty.itesm.mx/die/ddre/transferecia/Transferencia52/eli4-52.html).
- GOENSA. (2023). *Sistemas hidraulicos en las plantas de depuracion de aguas residuales*.  
<https://goensa.com/noticias/sistemas-hidraulicos-en-las-plantas-de-depuracion-de-aguas-residuales/#:~:text=Podemos%20concluir%20que%20los%20sistemas,de%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales>
- Herencia Ramos, R. M., & Sandoval Cadillo, J. H. (2020). *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas grises en edificaciones multifamiliares en el distrito de Comas - Lima para la reduccion del consumo de agua potable*. [Tesis de pregrado, Universidad San Martin de Porres]. Repositorio académico Universidad San Martin de Porres. [<https://hdl.handle.net/20.500.12727/6671>]
- Khanam, K., & Patidar, S. (2022). Greywater characteristics in developed and developing countries. *Revista Elvier*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.022>
- Levine, D., Krehbiel, T., & Bereson, M. (2008). *Estadística para administración*.  
[https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/16091/mod\\_resource/content/1/Estadistica%20para%20Administracion%20Parte%201..pdf](https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/16091/mod_resource/content/1/Estadistica%20para%20Administracion%20Parte%201..pdf)
- López, P. L. (2014). Población muestra y muestreo. *Revista SciELO*  
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=s1815-02762004000100012&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=s1815-02762004000100012&script=sci_arttext)
- Maifadi, S., Dalton Mhlanga, S., Ndumiso Nxumalo, E., Mxolisi Motsa, M., & Tawanda Kuvarega, A. (2022). Treatment of salon wastewater by peroxydisulfate based

- advanced oxidation process (PDS-AOP) under solar light: Synergy through integrated technologies. *Revista Elvier*. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103062>
- Metcalf, & Eddy. (1995). *Ingenieria de aguas residuales - tratamiento, vertido y reutilizacion*. McGraw-Hill Education
- Metcalf, & Eddy. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. McGraw-Hill Education  
[https://www.abpsoil.com/images/Books/Wastewater\\_Engineering\\_Treatment\\_Resource\\_Recovery\\_Metcalf\\_Eddy\\_5th.pdf](https://www.abpsoil.com/images/Books/Wastewater_Engineering_Treatment_Resource_Recovery_Metcalf_Eddy_5th.pdf)
- Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. (2019). *Decreto supremo N°010-2019-Vivienda, Aprueba el reglamento de volres maximo admisibles (VMA) para descargas de aguas residules no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario*. <https://www.gob.pe/institucion/sunass/normas-legales/986955-decreto-supremo-n-010-2019-vivienda>.
- Ministerio del Ambiente. (2010). *Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales-DS N° 003-2010-MINAM*. [https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds\\_003-2010-minam.pdf](https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf)
- Ministerio del medio ambiente. (2019). *Informe de la situación ambiental nacional para el quinquenio 2014-2019*. MINAM: <https://www.minam.gob.pe>
- Nair, S. S., Pinedo Cuenca, R., Stubbs, T., & Balan Ganesan, P. (2022). Aplicación contemporánea de la tecnología de microburbujas en el tratamiento del agua. *Revista Elvier*. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.328>

Navarro, M. O. (2007). *Demanda bioquímica de oxígeno 5 días, incubación y electrometría.*

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>

Ojeda de López, J., Quintero, J., & Machado. La ética en la investigación. *Revista Telos.*

<http://www.redalyc.org/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=99318750010>

Olivos Rodriguez, A. M., & Toledo Cotrina, F. A. (2024). *Propuesta de un sistema de*

*tratamiento de aguas grises en edificaciones multifamiliares para su desarrollo*

*sostenible.* [ Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio academia

de Universidad Ricardo Palma.

<https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/8348>

Organizacion de las Naciones Unidas. (2014). *Deterioro de la calidad y alteracion en el ciclo hidrológico.*

<https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml#:~:text=El%20deterioro%20de%20la%20calidad,alteraciones%20en%20el%20ciclo%20hidrol%C3%B3gico.>

Organizacion Panamericana de la salud (OPS). (2005). *Guia para el diseño de sistemas de*

*tratamiento de filtracion en multiples etapas.*

<http://www.elaguapotable.com/Guia%20dise%C3%B1o%20filtraci%C3%B3n%20en%20m%C3%BAltiples%20etapas.pdf>

Pérez Pupo, J., & Parra Escalona, Y. (2005). Metodología de diseño de sistemas hidráulicos.

*Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias,* 18-22.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93214203>

Pichiya Umul, E. r. (2023). Evaluación de un sistema de tratamiento de agua gris domiciliar a base de filtros multiples. *Revista Agua, Saneamiento & Ambiente*, 18. <https://doi.org/10.36829/08ASA.v18i2.1521>

Quispe, P. P. (2018). *Reutilización de aguas grises domesticas ante la insuficiencia de agua potable en edificios multifamiliares – Lima*. [ Tesis de pregrado, Universidad Peruana los Andes], Repositorio institucional Universidad Peruana los Andes. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/782>

Ramírez Burgos, L. I., & Durán Domínguez de Bazúa , M. d. (2008). *Demanda química de oxígeno de muestras acuosas*. [http://cmas.siu.buap.mx/portal\\_pprd/work/sites/redica/resources/LocalContent/127/2/Libro%20DQO%202008.pdf](http://cmas.siu.buap.mx/portal_pprd/work/sites/redica/resources/LocalContent/127/2/Libro%20DQO%202008.pdf)

Real Decreto 1620/2007. (2007,08 de diciembre). *Régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas*. <https://boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-21092#a2>

Reglamento Nacional de Edificaciones. (2006). *DS N°011-2006-Vivienda, OS.090 Plantas de tratamiento de agua residual*. [https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas\\_Legales/saneamiento/OS.090.pdf](https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/OS.090.pdf)

Reglamento Nacional de Edificaciones. (2012). *IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones DS N° 017-2012*. <https://www.gob.pe/institucion/munisantamariadelmar/informes-publicaciones/2619716-is-010-instalaciones-sanitarias-para-edificaciones-ds-n-017-2012>

Rodriguez Ocampo, P. (2021). *Hidraulica basica: similitud hidraulica*. [video]. Youtube.

[https://www.youtube.com/watch?v=zLyPM1tHfyY&t=678s&ab\\_channel=PaolaRiing](https://www.youtube.com/watch?v=zLyPM1tHfyY&t=678s&ab_channel=PaolaRiing)

Rojas, P. J. (2004). *Uso, reusó y reciclaje del agua residual en una vivienda*.

[https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-09-29\\_12-16-35111090.pdf](https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-09-29_12-16-35111090.pdf)

Ruales, A. B. *Introducción a los sistemas hidráulicos*. Editorial Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE - Departamento de ciencias de la Energía y Mecánica, 2021.

[https://www.researchgate.net/publication/350735315\\_Introduccion\\_a\\_los\\_Sistemas\\_Hidraulicos\\_una\\_Revision\\_Sistematica\\_de\\_la\\_Literatura\\_Introduction\\_to\\_Hydraulic\\_Systems\\_a\\_Systematic\\_Review\\_of\\_the\\_Literature](https://www.researchgate.net/publication/350735315_Introduccion_a_los_Sistemas_Hidraulicos_una_Revision_Sistematica_de_la_Literatura_Introduction_to_Hydraulic_Systems_a_Systematic_Review_of_the_Literature)

Sampieri, R. H. (2014). *Metodologia de la investigacion*. McGRAW-HILL / Interamericana Editores, S.A. DE C.V.

[https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia\\_de\\_la\\_investigacion\\_-\\_roberto\\_hernandez\\_sampieri.pdf](https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf)

Sierra, C. (2011). *Calidad del Agua: Evaluación y Diagnostico*. Universidad de Medellin

<http://hdl.handle.net/11407/2568>

Sotelo Alfaro, H. J., & Sotelo Huaman, J. A. (2020). *Optimización del consumo de agua en vivienda multifamiliar mediante sistema de reutilización de aguas grises, en sector*

*los Lunas-Ica*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio digital institucional de Universidad Cesar Vallejo.

<https://hdl.handle.net/20.500.12692/60314>

- Unidad de apoyo tecnico para el saneamiento basico del area rural. (2003). *Especificaciones tecnicas para el diseño de trampa de grasa*.  
<http://www.ingenieroambiental.com/4014/xv.pdf>
- Verdines, P., & Campbell, M. (2013). *Fundamentos del diseño de interacción*. Editorial Digital Tecnológico de Monterrey.  
<http://prod77ms.itesm.mx/podcast/EDTM/ID094.pdf>
- Visbal H., L., & Rozo Q., A. (2018). Diseño de un sistema de filtración continua arena - carbon activado como herramienta didactica en el laboratorio de operaciones unitarias. *Repositorio institucional Universidad de San Buenaventura*.  
<http://hdl.handle.net/10819/6931>
- Walle, A., Kim, M., Kawser Alam, M., Wang , X., & Rabaey, K. (2023). Greywater reuse as a key enabler for improving urban wastewater management. *Revista Elsevier*.  
<https://doi.org/10.1016/j.ese.2023.100277>
- Wendy, S. A. (2012). *Sistemas de Tratamiento de Aguas Grises domésticas, como una alternativa para la Seguridad Hídrica de Tijuana*. [Tesis de maestría, El Colegio de la frontera Norte]. Repositorio de El Colegio de la frontera Norte.  
<http://colef.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1014/428>
- XYLEM let is solve water. (2020). *sistema de aireacion de alta eficiencia por burbujas finas de sanitaire*. <https://es.scribd.com/document/250295368/DIFUSORES>
- Zapata Rosales, J. A. (2018). *Eficiencia de un sistema de tratamiento de aguas grises para su reutilización en el regado de áreas verdes en la i.e. n°15509– Talara – Piura*. Piura– Peru. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio digital

institucional de Universidad Cesar Vallejo

<https://hdl.handle.net/20.500.12692/32322>