UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

**Optimización hidráulica de la planta de tratamiento de aguas residuales
aprovechando la pendiente pronunciada del terreno en Vitor – Arequipa
– Arequipa**

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Daviran Paucar, Miguel Jhunion ([0000-0002-2624-237X](#))

Huamani Centeno, Carmen Del Rosario ([0000-0002-8648-4127](#))

ASESOR

Marisa Rosana Silva Dávila ([0000-0003-4910-5252](#))

Lima, 21 de julio de 2020

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada principalmente a Dios por permitirnos lograr un paso más en nuestra formación profesional, a nuestras familias por brindarnos su apoyo constante y a nuestros profesores que nos han transmitido sus conocimientos y experiencias a lo largo de la carrera.

Daviran Paúcar Miguel Jhunior

Huamani Centeno Carmen Del Rosario

AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiarnos y llenarnos de bendiciones, a nuestras familias por estar presentes en cada meta que nos trazamos, a nuestros compañeros de clase que nos han apoyado y motivado a seguir adelante en lo profesional y personal, a la Ing. Marisa Silva Dávila por su tiempo y valioso apoyo en la asesoría para el desarrollo de la presente tesis.

El reconocimiento a nuestros docentes de la carrera de Ingeniería Civil por el apoyo y sugerencias para la culminación del trabajo de investigación.

RESUMEN

Hoy en día, la problemática ambiental en el Perú es la contaminación del agua, debido al vertimiento de aguas residuales domesticas de las poblaciones que no tienen un sistema de tratamiento adecuado que presentan un tratamiento deficiente.

Mediante la presente investigación se demuestra los procesos de depuración a través de la aireación en el flujo del conducto, esto debido a las pendientes pronunciadas en la red de alcantarillado y sistemas de conducción. Para esto se realizó el diseño de la PTAR convencional en base a la Norma OS-090 para luego realizar los cálculos de aireación basados en la teoría de Naudascher y proceder a realizar el diseño de la PTAR Optimizada. Los resultados obtenidos teóricamente fueron validados a través de pruebas de laboratorio realizado en campo. Al finalizar la investigación se concluye y recomienda lo siguiente:

La Norma OS-090 no considera la remoción de contaminantes en la red de alcantarillado y sistemas de conducción. En el proceso de diseño generalmente no se considera condiciones geográficas particulares, como la fuerte pendiente que representa una gran ventaja en zonas rurales. Luego de realizar los cálculos de la aireación en la fuerte pendiente basados en los conocimientos de la Hidráulica y validarlos a través de un muestreo de campo, se logra comprobar la hipótesis inicial, las pendientes pronunciadas del terreno nos permiten optimizar la PTAR a través de la remoción del DBO y SST en las redes de alcantarillado y sistemas de conducción, por ende, se logra reducir costos en la etapa de construcción, operación, mantenimiento, aumentar la eficiencia del proceso y generar el menor impacto ambiental.

Se recomienda poder realizar más pruebas de laboratorio para la obtención de mayor cantidad de datos que aumenten el rango de precisión de la remoción del DBO para cada pendiente. Para futuros diseños de PTAR en zonas rurales con pendiente pronunciada se recomienda considerar los cálculos de aireación en el proceso de diseño.

Palabras Claves: PTAR, Tratamiento, Normatividad, Agua Residual, Depuración, Procesos, Optimizar, Diseño.

Hydraulic optimization of the wastewater treatment plant taking advantage of the steep slope of the land in Vitor – Arequipa - Arequipa

ABSTRACT

Today, the environmental problem in Peru is water contamination, due to the dumping of domestic wastewater from populations that do not have an adequate treatment system and that present poor treatment.

This research demonstrates the purification processes through aeration in the flow, this due to steep slopes in the sewerage network and conduction systems. For this, the design of the conventional PTAR was carried out based on the OS-090 standard, then the aeration calculations based on Naudascher's theory were performed and the optimized PTAR was designed. The theoretical results were validated through laboratory tests conducted in the field. At the end of the research we conclude and recommend the following:

The OS-090 standard does not consider the removal of pollutants from the sewer network or pipeline systems. The design process generally does not consider particular geographical conditions, such as the steep slope that represents a major advantage in rural areas. After performing the calculations of aeration on the steep slope based on the knowledge of hydraulics and validate them through a field sampling, it is possible to verify the initial hypothesis, the steep slopes of the ground allow us to optimize the PTAR through the removal of DBO and SST in the sewer networks and conduction systems, therefore, it is possible to reduce costs in the construction stage, operation, maintenance, Increase process efficiency and generate the least environmental impact.

It is recommended that more laboratory tests can be performed to obtain more data that increases the range of accuracy of DBO removal for each slope. For future PTAR designs in steeper rural areas it is recommended to consider aeration calculations in the design process.

Keywords: WWTP, Treatment, Regulations, Residual Water, Purification, Processes, Optimize, Design.

INDICE

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT	IV
INDICE	V
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XII
INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEÓRICO	6
1.1 Definiciones Previas.....	6
1.2 Características del agua residual	8
1.2.1 Características físicas	8
1.2.2 Características químicas	10
1.2.3 Características biológicas	12
1.3 Plantas de tratamiento de aguas residuales.....	12
1.3.1 Importancia de las PTAR	12
1.3.2 Funcionamiento de las PTAR	13
1.4 Lagunas de estabilización.....	23
1.5 Hidráulica de Canales.....	25
1.6 Marco legal en PTAR.....	29
1.7 Parámetros de diseño en PTAR convencionales	33
1.8 Dificultades de operación.....	36
2 MATERIAL Y MÉTODOS	38
2.1 Material	38
2.1.1 Población.....	38
2.1.2 Muestra.....	38
2.2 Método	38
2.2.1 Nivel de Investigación.....	38
2.2.2 Diseño de Investigación	39
2.2.3 Variables de estudio y operacionalización	40

2.2.4	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	41
2.2.5	Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos	41
3	PROCESOS DE DEPURACIÓN DEBIDO A LA FUERTE PENDIENTE	43
3.1	Generalidades	43
3.1.1	Colectores.....	45
3.1.2	Sistemas de Conducción.....	47
3.2	Depuración en colectores	48
3.2.1	Almacenamiento.....	48
3.2.2	Tiempo de retención.....	48
3.2.3	Transporte	50
3.3	Depuración en la conducción	50
3.3.1	Transporte	50
3.3.2	Buzones	50
3.4	Depuración de la materia orgánica.....	52
3.5	Incorporación de aire.....	53
3.5.1	Flujo con admisión de aire en canales.....	53
3.5.2	Incorporación con pendientes.....	59
4	INFORMACIÓN BÁSICA	60
4.1	Delimitación del Área de estudio	60
4.1.1	Ubicación	60
4.1.2	Población.....	61
4.1.3	Clima.....	61
4.1.4	Actividades económicas	63
4.2	Características de las aguas residuales	63
4.3	Caudal del agua residual	68
4.4	Características del Terreno.....	68
4.4.1	Pendientes y topografía	68
4.5	Características Hidráulicas del sistema de alcantarillado en el colector y emisor	70
4.5.1	Proyección de la población	70
4.5.2	Dotación	71
4.5.3	Aportación.....	71
4.5.4	Gastos de Diseño.....	71
4.5.5	Velocidad	72
5	DISEÑO HIDRÁULICO DE PTAR CONVENCIONAL	73
5.1	Generalidades	73
5.2	Estimación de la población	73

5.2.1	Población.....	73
5.2.2	Periodo de Diseño	73
5.2.3	Proyección de la Población Futura.....	74
5.2.4	Horizonte del Proyecto.....	75
5.3	Cálculo del caudal de aguas residuales	75
5.4	Calidad del afluente.....	75
5.5	Calidad del efluente.....	76
5.6	Resumen de las bases de diseño.....	77
5.7	Pre-tratamiento de aguas residuales	77
5.8	Diseño de laguna facultativa primaria.....	77
5.9	Resumen de cálculo de la laguna primaria y secundaria - PTAR Convencional	82
5.10	Análisis y Discusión de Resultados.....	85
6	DISEÑO HIDRÁULICO DE PTAR OPTIMIZADA	86
6.1	Cálculo hidráulico	86
6.1.1	Desarrollo de cálculos hidráulicos	86
6.1.2	Resumen de cálculos hidráulicos	94
6.1.3	Verificación de cálculos hidráulicos con HCANALES	96
6.2	Cálculo de aireación en rápidas.....	97
6.2.1	Cálculo del ángulo de inclinación	97
6.2.2	Cálculo de la concentración de aire.....	97
6.3	Depuración de contaminantes en la rápida.....	99
6.4	Diseño de la laguna primaria y secundaria optimizada	105
6.5	Resumen de cálculo laguna primaria y secundaria – PTAR Optimizada.....	107
7	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	109
7.1	Verificación de resultados	109
7.2	Discusión.....	116
	CONCLUSIONES	123
	RECOMENDACIONES	124
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
	ANEXOS.....	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Compuestos olorosos asociados al agua residual	22
Tabla N° 2 Características del agua residual con relación al color	23
Tabla N° 3 Clasificación del pH en el agua	24
Tabla N° 4 Tratamiento Aerobio vs Tratamiento Anaerobio	31
Tabla N° 5 Velocidad Máxima para tuberías de alcantarillado	39
Tabla N° 6 Marco legal para el tratamiento de aguas residuales	43
Tabla N° 7 Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR	44
Tabla N° 8 Categoría 3 – Riego de vegetales y bebida animal	45
Tabla N° 9 Ventajas y desventajas de las Infiltración Rápida (IR)	46
Tabla N° 10 Ventajas y desventajas de las Infiltración Lenta (IL)	47
Tabla N° 11 Ventajas y desventajas de la Escorrentía Superficial (ES)	47
Tabla N° 12 Ventajas y desventajas del Humedal de Flujo Superficial (HFL)	48
Tabla N° 13 Ventajas y desventajas del Humedal de Flujo Subsuperficial (HSS)	49
Tabla N° 14 Comparación en el rendimiento de diversos sistemas naturales de depuración de aguas residuales urbanas.	50
Tabla N° 15 Variables de estudio Independiente y operacionalización	53
Tabla N° 16 Variables de estudio Dependiente y operacionalización	53
Tabla N° 17 Tiempos de digestión de acuerdo a la temperatura	61
Tabla N° 18 Días de retención según zonas	62
Tabla N° 19 Relación de la temperatura y el % de descomposición orgánica	70
Tabla N° 20 Población Servida y Caudal Promedio	81
Tabla N° 21 Parámetros de diseño para alcantarillado	83
Tabla N° 22 Caudales a ser Tratados en la PTAR Vítor	87
Tabla N° 23 Población de diseño según el método geométrico	88
Tabla N° 24 Caudales a ser tratados en la PTAR de Vítor	88
Tabla N° 25 Valores para calidad del efluente	89
Tabla N° 26 Límites máximos permisibles para efluentes de PTARs	89
Tabla N° 27 Datos para el diseño de la PTAR	90
Tabla N° 28 Valores del Pre-Tratamiento	90

Tabla N° 29 Dimensionamiento laguna facultativa primaria – PTAR Convencional	96
Tabla N° 30 Dimensionamiento laguna facultativa secundaria – PTAR Convencional	97
Tabla N° 31 Longitud y pendientes de diseño	99
Tabla N° 32 Gastos de diseño	101
Tabla N° 33 Ángulos internos	105
Tabla N° 34 Tirante hidráulico por tramos	105
Tabla N° 35 Velocidades por tramos	106
Tabla N° 36 Área para cada pendiente	106
Tabla N° 37 Ángulo de inclinación para cada pendiente	110
Tabla N° 38 Concentración de aire según el experimento de Straub	110
Tabla N° 39 Concentración de aire	111
Tabla N° 40 Calculo de oxígeno requerido	113
Tabla N° 41 Datos para cálculo de DBO removido	116
Tabla N° 42 Cantidad de afluente y efluente en el colector 3	116
Tabla N° 43 Parámetros de ingreso para la laguna primaria	119
Tabla N° 44 Dimensiones de la laguna primaria	119
Tabla N° 45 Parámetros de ingreso para la laguna secundaria	119
Tabla N° 46 Dimensiones de la laguna secundaria	119
Tabla N° 47 Dimensionamiento laguna facultativa primaria – PTAR Optimizada	120
Tabla N° 48 Dimensionamiento laguna facultativa secundaria – PTAR Optimizada	121
Tabla N° 49 Presupuesto de la PTAR convencional	123
Tabla N° 50 Presupuesto de la PTAR optimizada	124
Tabla N° 51 Ficha de identificación punto MA-01	131
Tabla N° 52 Ficha de identificación punto MA-02	131
Tabla N° 53 Ficha de identificación punto MA-03	132
Tabla N° 54 Resultados del Muestreo	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: “Localidades con PTAR en las EPS grandes, medianas y pequeñas” (SUNASS, 2015, p. 36)	16
Figura N° 2: Parámetros químicos a medirse en aguas residuales	24
Figura N° 3: Tecnología de tratamiento de agua residual	27
Figura N° 4: Secuencia completa de tratamiento de aguas residuales domésticas	31
Figura N° 5: Esquema de la trayectoria hidráulica de aplicación para IR	33
Figura N° 6: Esquema de la trayectoria hidráulica de aplicación para IL	34
Figura N° 7: Esquema de la trayectoria superficial y subterránea IL	34
Figura N° 8: Esquema del sistema de escorrentía superficial (ES)	34
Figura N° 9: Esquema de un humedal superficial HFL	36
Figura N° 10: Flujo en conductos	38
Figura N° 11: Elementos de una sección circular	40
Figura N° 12: Aireación Natural	57
Figura N° 13: Esquema de la red de alcantarillado	57
Figura N° 14: Esquema de la red de colectores	58
Figura N° 15: Detalle típico de un colector	59
Figura N° 16: Detalle típico de encuentro de colectores	59
Figura N° 17: Visualización de un buzón	60
Figura N° 18: Mantenimiento preventivo y correctivo de una red de alcantarillado	60
Figura N° 19: Detalle típico de un buzón	64
Figura N° 20: Evolución diaria del caudal, de los sólidos en suspensión y la DBO5 en las aguas residuales urbanas.	65
Figura N° 21: Representación esquemática del flujo en una rápida	66
Figura N° 22: Relación entre los coeficientes de resistencia para flujo totalmente autoaerado y para flujo sin aire al inicio de la autoaeración como función de la concentración media de aire.	68
Figura N° 23: Distribución de la concentración de aire normal en el fondo del canal para el flujo uniforme autoaerado en función del ángulo de inclinación	69
Figura N° 24: Rendimiento de la flotación por aire disuelto	71

Figura N° 25: Estructura longitudinal de los flujos aireados	72
Figura N° 26: Macro localización del Distrito de Vítor	73
Figura N° 27: Climograma del Distrito de Vítor	74
Figura N° 28: Diagrama de Temperatura del Distrito de Vítor	75
Figura N° 29: Tabla Climática del Distrito de Vítor	75
Figura N° 30: Muestra del Agua Residual	77
Figura N° 31: Valores de pH	77
Figura N° 32: Solidos Suspendidos Totales	78
Figura N° 33: Temperatura	78
Figura N° 34: DBO	79
Figura N° 35: DQO	79
Figura N° 36: Aceites y grasas	80
Figura N° 37: Concentración de Coliformes Totales	80
Figura N° 38: Unidades geológicas expuestas en el área de investigación	82
Figura N° 39: Esquema de las longitudes de la laguna	92
Figura N° 40: Tramo con pendiente pronunciada a evaluar	100
Figura N° 41: $S=9\%$ Q_{min}	109
Figura N° 42: $S=7\%$ Q_{med}	109
Figura N° 43: Ubicación del colector 3	116
Figura N° 44: Vista General de la PTAR	126
Figura N° 45: Vista del canal de Parshall y la laguna primaria	127
Figura N° 46: Ubicación de Puntos de Muestreo	130

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1 Concentración de aire para cada pendiente	111
Gráfico N° 2 Volumen de masa de agua de la laguna primaria y secundaria - PTAR Tradicional vs Optimizada	122
Gráfico N° 3 Área ocupada de la Laguna primaria y secundaria - PTAR Tradicional vs Optimizada	122
Gráfico N° 4 Costo de construcción, operación y mantenimiento – PTAR tradicional vs optimizada	126
Gráfico N° 5 Temperaturas según muestras	133
Gráfico N° 6: DBO según muestras	134
Gráfico N° 7: DQO según muestras	134
Gráfico N° 8: SST según muestras	135

INTRODUCCIÓN

Actualmente en el Perú, en el sector de saneamiento se presentan grandes deficiencias, la primera de ellas, radica en la inadecuada gestión de proyectos y la administración del recurso hídrico debido a que, no se cuenta con un sistema de gestión del proyecto que permita garantizar que este tenga la mayor posibilidad de alcanzar la meta estimada y se sostenga en el tiempo (SUNASS, 2015).

El estado peruano viene gestionando proyectos para que más regiones en el Perú puedan contar con plantas de tratamiento de aguas residuales, pero a pesar de los esfuerzos estos no han sido de todo exitosos ya que, se diseña PTAR de poca capacidad y estos sobrepasan rápidamente la capacidad estimada debido al constante crecimiento de la población, inadecuadas coberturas de los sistemas de alcantarillado y saneamiento, no se cuenta con el área superficial disponible en la mayoría de regiones, falta de técnicas especializadas y/o apropiadas para la degradación de los compuestos orgánicos, altos costos de instalación, mantenimiento y operación de las PTAR, difícil acceso a las zonas de estudio, falta de recursos por parte del estado para el mantenimiento y operación de las PTAR, zonas rurales que presentan un bajo nivel de vida y no cuentan con sistemas de saneamiento y alcantarillado, diseños establecido bajo parámetros que no consideran la depuración en pendientes pronunciadas propias de las mismas condiciones del terreno, desconocimiento de la naturaleza y descomposición del agua residual (SUNASS, 2015).

Por tal motivo, la falta de plantas de tratamientos de agua servidas ha generado un enorme problema en el país y ha sido detallado en el Diagnostico de una PTAR dentro del ámbito de operación en las empresas prestadoras de servicio del año 2015 emitido por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS). “En este informe da a conocer que, en la actualidad de las 253 localidades del ámbito de las EPS, 89 no cuentan con tratamiento de aguas residuales, por lo que el agua residual cruda de estas localidades se vierte directamente a los ríos, mares, pampas o drenes” (SUNASS, 2015, p.35). “En las 164 localidades restantes, las aguas residuales son conducidas hacia una planta de tratamiento de aguas residuales.” (SUNASS, 2015, p. 35).

En la figura N° 1 se muestra esta condición en cada una de las EPS a nivel nacional.

Figura N° 1: “Localidades con PTAR en las EPS grandes, medianas y pequeñas” (SUNASS, 2015, p. 36).

Fuente: Diagnóstico de coberturas del tratamiento de aguas residuales – SUNASS.2015.

Por lo expuesto, se afirma que dentro de los aspectos críticos más relevantes que caracterizan el estado situacional de la gestión de los recursos hídricos, el 65% de las localidades cuentan con un servicio de PTAR mientras que el 35% no cuentan con PTAR, además del 65% de

las localidades que cuentan con una PTAR el 32.3% de éstas se encuentran con las construcciones paralizadas o no están operativas.

En el documento denominado: Eliminación de Materia Orgánica y Nitrógeno en la Operación de Humedales Construidos por Lotes de Flujo Vertical por Combinación de la Aireación Intermitente y la Estrategia de Alimentación Escalonada, los autores *Jinlin Fan, Shuang Liang, Bo Zhang y Jian Zhang* (2012).

Se presentan experiencias e investigaciones de depuración de contaminación en diferentes condiciones que permiten concluir:

- Los resultados de los experimentos realizados durante cuatro meses nos permitieron conocer y concluir que la aireación aplicada logra la reducción de los compuestos químicos al 97, 96 y 82%.
- En condiciones aireadas el proceso de desnitrificación de los compuestos orgánicos, nitrógeno amónico ($\text{NH}_4\text{-N}$) y nitrógeno total (TN) presenta un 91% de proceso de desnitrificación que es mejor que la condición no aireada que se muestra a continuación.
- En condiciones no aireadas el proceso de desnitrificación presenta un 29% de la eliminación de compuestos orgánicos.
- El efecto de reducción de estos gases orgánicos en las plantas fue confirmado en este estudio donde los datos de monitoreo mostraron que las plantas podrían crecer normalmente por Aeración intermitente, así como la alimentación por pasos no tuvo una influencia obvia en el crecimiento de plantas de humedal en este estudio.

Según lo investigado por *Fan, Shuang Liang* (2012), la incorporación de aire en estos tramos de caídas y rápidas, propias de la topografía del lugar, produce una aceleración del flujo provocando que se dé una segregación natural de los sólidos y la eliminación de materia orgánica, nitrógeno de amonio y nitrógeno total.

Esta información es valiosa para la presente tesis en la que se investigará la depuración natural durante el recorrido del flujo en la red de alcantarillado hacia la llegada a la planta de tratamiento.

Formulación del Problema

¿Cómo se puede optimizar hidráulicamente la planta de tratamiento de aguas residuales aprovechando las pendientes pronunciadas del terreno en las redes de alcantarillado?

Hipótesis

Las pendientes pronunciadas del terreno nos permiten optimizar hidráulicamente la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con la remoción del DBO y SST dentro de las redes de alcantarillado y sistemas de conducción hasta la PTAR.

Objetivo General

Optimizar hidráulicamente la PTAR aprovechando los procesos de depuración que se producen en los flujos gracias a las pendientes pronunciadas del terreno para la remoción del DBO y los sólidos suspendidos en las redes de alcantarillado y sistema de conducción hasta la PTAR, esto nos permitirá optimizar hidráulicamente la PTAR reduciendo el volumen en la PTAR y, por ende, reducir el presupuesto de construcción y operacionalización de este.

Objetivos Específicos

- Recopilar y analizar la información básica (características socioeconómicas, clima, características del terreno de la zona, calidad del agua residual, característica hidráulica, entre otros).
- Analizar los procesos de depuración debido a la fuerte pendiente.
- Diagnóstico de la eficiencia de la planta de tratamiento actual en la zona de estudio.
- Mejorar la viabilidad del proyecto a nivel costos.
- Demostrar la remoción de sólidos y DBO en redes de alcantarillado utilizando las pendientes pronunciadas.
- Análisis Cuantitativo de la PTAR convencional y la PTAR optimizada.

Para las soluciones frente a este problema se establece:

- Conocer la naturaleza y composición del desagüe.
- La búsqueda y desarrollo de nuevas tecnologías que nos permita optimizar el mantenimiento y operación de la PTAR.

- Aprovechar el reúso de las aguas residuales y servidas para las actividades de la agronomía y ganadería.
- Reducción de la contaminación ambiental, mejorando el estilo de vida de los pobladores.
- El sistema de saneamiento y alcantarillado deficiente repercute en poder conocer la disponibilidad y la buena operación de la PTAR, pues la atención del requerimiento de la población está condicionada por la calidad del servicio que estos reciben para poder satisfacer sus necesidades, por ello es importante conocer el estado actual de los sistemas de saneamiento y alcantarillado en cada cuenca ya sea de manera exacta o aproximada con la finalidad de formular propuestas para una adecuada gestión y administración del recurso hidráulico.

1. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se desarrollará el marco teórico como los conceptos más importantes para poder entender el contenido de la investigación. Donde se abordará temas como son: Definiciones previas, el funcionamiento y operatividad de las PTAR, tecnologías de tratamiento, parámetros de diseño, etc.

1.1 Definiciones Previas

- **“Aeración:** Proceso de transferencia de oxígeno del aire al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido)” (Norma OS.090, 2006, p. 02).
- **“Afluente:** Agua u otro líquido que ingrese a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento” (Norma OS.090, 2006, p. 02).
- **“Anaerobio:** Condición en la cual no hay presencia de aire u oxígeno libre” (Norma OS.090, 2006, p. 02).
- **“Clarificación:** Proceso de sedimentación para eliminar los sólidos sedimentables del agua residual” (Norma OS.090, 2006, p. 02).
- **“Depuración de aguas residuales:** Purificación o remoción de sustancias objetables de las aguas residuales; se aplica exclusivamente a procesos de tratamiento de líquidos” (Norma OS.090, 2006, p. 03).
- **“Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO):** Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y 20°C) “ (Norma OS.090, 2006, p. 02).
- **“Demanda química de oxígeno (DQO):** Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio” (Norma OS.090, 2006, p. 03).
- **Efluente:** Caudal de salida después del proceso de tratamiento.
- **“Optimización:** El propósito de la optimización es encontrar o identificar la mejor solución posible, para un problema dado” (Javier Ordoñez, PhD, 2004).

- **Optimización Hidráulica:** La optimización Hidráulica es utilizar los conocimientos de la hidráulica para hallar el mejor recurso posible a un problema, la presente investigación nuestro parámetro para la optimización está en base a la inclusión de los cálculos de aireación en el flujo debido a la fuerte pendiente, debido a ello se produce la depuración del contaminante.
- **“PTAR Convencional:** Proceso de tratamiento bien conocido y utilizado en la práctica. Generalmente se refiere a procesos de tratamiento primario o secundario y frecuentemente se incluye la desinfección mediante cloración” (Norma OS.090, 2006, p. 05).
- **PTAR Optimizada:** Es el resultado de la aplicación de la hidráulica para la aireación en el flujo rápido debido a la fuerte pendiente. Teniendo como resultado la minimización del área ocupada por el sistema de laguna tradicional, reducción de costos de operación y mantenimiento, de acuerdo con los principales parámetros en el diseño que son la población, periodo de diseño, caudal de diseño, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos suspendidos, pH y temperatura.
- **“pH:** El pH es un término de uso general para expresar la magnitud de la acidez o alcalinidad, cuando tenemos pH mayores a siete se origina una alcalinidad del medio y si son inferiores a siete se produce una acidificación” (Manotupa, 2018, p. 30).
- **“Sólidos totales:** Los sólidos totales se originan al caer la lluvia arrastrada por las partículas y fluidos expuestos a una superficie. Por lo tanto, el contenido de los sólidos totales de un agua residual afecta directamente la cantidad de lodo que se produce en sistema de tratamiento. Se considera como sólidos totales de un agua al residuo de evaporación y secado a 103 a 1050C” (Manotupa, 2018, p. 30).
- **“Sólidos disueltos:** Los sólidos disueltos se originan por los excrementos humanos, residuos domésticos como: agua de cocina (sales, detergentes y grasas, etc.), agua de baño, arrastre de lluvia, residuos industriales, agua de limpieza y lavado público” (Manotupa, 2018, p. 30).

1.2 Características del agua residual

Uno de los factores que influye sobre el proceso de depuración de las aguas residuales son sus componentes físicos, químicos y biológicos. En su gran mayoría los componentes representan un 99% de H₂O y 1% de SST. Los SST son clasificados en orgánicos e inorgánicos. A continuación, se proporcionará información sobre las características del agua residual.

1.2.1 Características físicas

Una de las características físicas más importantes es la presencia de sólidos. Además, tenemos otras propiedades físicas importantes que las describimos a continuación:

- **Sólidos totales**

Son materia que se obtiene después de someter al agua a un proceso de evaporación entre los 103 y 105 °C. Son definidos los sólidos sedimentables como aquellos que, en un tiempo de 60 minutos, en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono Imhoff), se sedimentan.

“Los sólidos totales se clasifican en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión), la fracción filtrable de sólidos corresponde a sólidos coloidales y disueltos” (Metcalf & Eddy, 1995, p. 72)

No es posible eliminar a los sólidos coloidales por sedimentación, ya que es imprescindible la oxidación para eliminación a través de la coagulación completada con sedimentación o con la fracción coloidal biológica.

- **Olores**

En estos procesos de descomposición de la materia orgánica se libera gases que generan fuertes olores. Esto genera oposición por parte de la población para la implementación de instalación de PTAR, debido a la presencia que tienen los olores es importante realizar estudios sobre los estragos que pueden producir y su impacto en la población.

El efecto de los olores puede llegar a reducir el apetito, inducir a menores consumos de agua, producir desequilibrios respiratorios, náuseas y vómitos y crear perturbaciones mentales.

- **Turbidez**

“La turbidez se puede definir como una medida de la pérdida de su transparencia, ocasionada el material particulado o en suspensión que arrastra la corriente del agua, el material puede consistir en arcillas, limos, algas” (Delgadillo, Camacho, Pérez, Andrade, 2010, p.54)

La mayor turbidez está relacionada al tamaño de la partícula, la medición de la turbiedad se lleva a cabo mediante la comparación de la intensidad de la luz dispersada en la muestra.

En la tabla N° 1, podemos observar los componentes relacionados al olor de las aguas residuales.

Tabla N° 1 Compuestos olorosos asociados al agua residual

<i>Compuestos olorosos</i>	<i>Fórmula química</i>	<i>Olor Característico</i>
<i>Crotilmercaptano</i>	$CH_3.CH=CH-CH_2-SH$	<i>Zorrillo</i>
<i>Dimetilsulfuro</i>	CH_3-S-CH_3	<i>Vegetales</i>
<i>Etilmercaptano</i>	CH_3CH_2-SH	<i>descompuestos</i>
<i>Metilmercaptano</i>	CH_3SH	<i>Repollos</i>
<i>Sulfuro de Hidrogeno</i>	H_2S	<i>descompuestos</i>
<i>Eskatol</i>	C_9H_9NH	<i>Repollos</i>
<i>Tiocresol</i>	$CH_3-C_6H_4-SH$	<i>descompuestos</i>
		<i>Repollos</i>
		<i>descompuestos</i>
		<i>Huevos podridos</i>
		<i>Material fecal</i>
		<i>Zorrillo, rancio</i>

Fuente: Crites y Tchobanoglous, 2000

- **Color**

Generalmente el agua residual es de color grisáceo. Sin embargo, a causa de movimiento en el interior de la red colectora, el color cambia de un color gris oscuro a un color negro, cuando el agua residual llega al color negro se le clasifica como agua residual séptica.

En la tabla N° 2 se muestran las características del agua residual con relación al color.

Tabla N° 2 Características del agua residual con relación al color.

<i>Café claro</i>	<i>Agua gris que permanece 6 horas en la red colectora después de su deceso.</i>
<i>Gris claro</i>	<i>Se encuentra en proceso de descomposición. Normalmente permanece poco tiempo en la red colectora.</i>
<i>Gris oscuro o negro</i>	<i>Sufre proceso de descomposición en condiciones anaeróbicas (sin oxígeno).</i>

Fuente: Delgadillo y Camacho, 2010

- **Densidad**

“Es una característica física muy importante del agua residual ya que de esto depende la formación de corrientes de densidad de fangos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento” (Metcalf & Eddy, 1995, p. 72)

- **Temperatura**

El agua residual presenta la temperatura generalmente mayor a la temperatura promedio del agua. Esto se presenta porque el calor específico del agua es superior a la del aire. Esto sucede frecuentemente durante todo el año, siendo inferior en los meses menos calurosos.

“Por otro lado, el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría. La temperatura produce un aumento en las velocidades de las reacciones químicas, combinado con la reducción del oxígeno” (Metcalf & Eddy, 1995, p. 71)

1.2.2 Características químicas

Los parámetros químicos son importantes porque que se interrelacionan con las propiedades del agua contaminada. “Esto obliga a considerar que las modificaciones que se provoquen en el agua residual deben mantener un equilibrio tal que evite, que algún componente se convierta en un factor limitante del crecimiento del sistema natural” (Delgadillo, Camacho, Pérez, Andrade, 2010, p.73). En la figura N° 2 se muestran los parámetros químicos más importantes.

Figura N° 2: Parámetros químicos a medirse en aguas residuales

Fuente: Delgadillo y Camacho, 2010

- **pH**

El pH es indicador que prevalece sobre los demás parámetros. Ya que nos da a las cantidades de iones presentes en una muestra de agua residual, “si es mayor a siete entonces se origina una alcalinidad y si es inferior a siete se produce una acidificación. El pH neutro se da cuando está en siete unidades” (Manotupa, 2018, p. 30). La presencia de un PH inferior a seis, es favorable para el crecimiento de hongos en el proceso biológico.

En la tabla N° 3 se muestran la clasificación del pH en el agua.

Tabla N° 3 Clasificación del pH en el agua

<i>Acido</i>		<i>Neutro</i>	<i>Características del agua</i>	
<i>Fuerte</i>	<i>Medio</i>		<i>Medio</i>	<i>Fuerte</i>
<i>0 a 4,3</i>	<i>4,3 a 7</i>	<i>7</i>	<i>7 a 8,2</i>	<i>8,2 a 14</i>

Fuente: Delgadillo y Camacho, 2010

- **Compuestos inorgánicos**

Los compuestos inorgánicos en las aguas residuales están conformados por nutrientes, metales pesados y gases, que son importantes para un adecuado tratamiento del agua.

“Cuando se vierten aguas residuales con concentraciones elevadas de nutrientes (especialmente de nitrógeno y fosforo), se provocan múltiples problemas en el medio receptor, principalmente la eutrofización” (Delgadillo, Camacho, Pérez, Andrade, 2010, p.74).

1.2.3 Características biológicas

Las características biológicas son de gran importancia ya que a través de ellas podemos tener un control de las enfermedades que pueden ser causadas por organismos patógenos de origen humano. Además de la importancia de las bacterias en los procesos biológicos de degradación en la naturaleza (Metcalf & Eddy, 1995, p. 103).

- **Microorganismos**

“Se pueden clasificar en protistas, plantas y animales, estos tres grupos se encuentran principalmente en aguas superficiales como residuales, intervienen en el tratamiento biológico y son utilizados como indicadores de polución” (Metcalf & Eddy, 1995, p. 415).

- **Organismos patógenos y coliformes**

Estos organismos generalmente provienen del intestino del ser humano, de animales y distribuida en la naturaleza. Los coliformes se introducen generalmente a través de las heces del ser humano y de animales. “Para el ser humano los coliformes no son perjudiciales para el hombre, son útiles en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales ya que ayudan a degradar la materia orgánica” (Metcalf & Eddy, 1995, p. 106).

Los coliformes se distinguen en dos grupos los coliformes totales que comprende la totalidad del grupo y los coliformes fecales, aquellos de origen intestinal. “Estos organismos se clasifican en bacterias, virus, y protozoarios, pueden causar enfermedades como la fiebre tifoidea, la disentería, diarreas y cólera que de no ser controlados pueden terminar en la muerte del huésped” (Metcalf & Eddy, 1995, p. 106).

1.3 Plantas de tratamiento de aguas residuales

1.3.1 Importancia de las PTAR

Las PTAR son de vital importancia para mejorar la calidad de vida de la sociedad y el medio ambiente. Las aguas que han sido utilizado para uso doméstico, industrial, comercial, institucional o actividades ganaderas juntamente con las aguas pluviales y subterráneas son transportadas a través del

alcantarillado y estas son vertidas en un cuerpo receptor natural tales como: ríos, lagos y mares sin ser depurados previamente. Esto representa un gran peligro de infección parasitaria al no ser tratada el agua, ya que, son perjudiciales tanto para los seres humanos como para el medio ambiente. En las aguas residuales se suelen encontrar grasas, detergentes, sustancias tóxicas, materia orgánica, pesticidas entre otros elementos (Manotupa y Muriel, 2018).

Debemos entender que el adecuado mantenimiento de la PTAR es vital para la población y el medio en que vivimos. Depurar la mayor cantidad de agua residual permite que mayor cantidad de personas puedan contar con agua potable.

A través de un adecuado mantenimiento de este sistema podemos reducir los costes de energía y de adquisición de esta, en las distintas zonas del Perú. Las aguas residuales son fuentes transmisoras de enfermedades ya que contienen microorganismos patógenos que atacan el aparato intestinal humano. La depuración de agua residual permite la reutilización del agua para ciertos usos que no requieran de agua potable tales como riego de áreas verdes, limpieza, entre otras actividades.

1.3.2 Funcionamiento de las PTAR

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tiene como objetivo principal eliminar los contaminantes presentes en las aguas residuales para hacer de ella un agua sin riesgo a la salud y/o medio ambiente al disponerla en un cuerpo receptor natural (mares, ríos o lagos). Controlar la contaminación de agua producido por las actividades humanas, industriales o biológicas, tales como las aguas residuales, es darles un adecuado tratamiento, mediante procesos que realicen la remoción de contaminantes y esta pueda ser reutilizada nuevamente. La selección del tratamiento adecuado está en función al contenido de oxígeno y la capacidad de poder ser reutilizable. Siendo así el principal objetivo de estos sistemas la reutilización para actividades como la agricultura y el riego de parques.

Las aguas provenientes del consumo doméstico son desechadas a las alcantarillas o cloacas, estas pueden provenir también de industrias o comercio, esto dependerá de la zonificación en la que se encuentre la población. En algunos países desarrollados hay una adecuada división de las aguas grises y aguas

negras, las aguas domesticas puedes ser utilizadas para riego de plantas y para uso de inodoros, mientras que las aguas negras tienen que recibir un tratamiento más especializado para recién ser utilizado. “Los sistemas de alcantarillado que transportan aguas grises, negras y de precipitación conjuntamente son llamados sistemas de alcantarillado combinado” (Norma OS.090, 2006, p. 05).

A pesar de los diferentes procesos de tratamiento, se debe disminuir microorganismos presentes en las aguas residuales que causan enfermedades en la población. Para la correcta selección de la PTAR, se debe considerar, que el diseño sea optimo, económico y que sea un beneficio para la población a lo largo de un tiempo específico, además de contar con un adecuado plan de mantenimiento y revisión constante.

“Finalmente, en el diseño de una planta de tratamiento lo que se busca es tener mucho en los aspectos del caudal, el uso final del agua tratada, el área empleada, la viabilidad económica, entre otros” (FONAM, 2010, p. 03). En la figura N° 3 se muestra la Tecnología de tratamiento de agua residual.

Figura N° 3: Tecnología de tratamiento de agua residual

Fuente: Noyola, 2013

Dentro de los principales procesos de tratamiento que intervienen en una PTAR, tenemos el pretratamiento, las etapas primaria y secundaria, y la etapa terciaria.

a) Pre-Tratamiento

Etapa donde se reduce los sólidos mediante procesos fisicoquímico. Con la finalidad de descomponer el sólido al menor tamaño posible. Logrando así minimizar la carga orgánica para poder obtener un proceso más eficiente.

Dentro de la fase de pretratamiento se encuentran las siguientes etapas:

- “Desbaste: Procedimiento que consiste en la separación de partículas de tamaños considerables mediante el uso de rejillas. El tamaño de las partículas separadas es el elegido de acuerdo con el tipo de tratamiento posterior que se le dará” (FONAM, 2010, p. 04).
- “Tamizado: Realiza un procedimiento similar al desbaste, pero la calidad de separación de las partículas es más minuciosa. Así tenemos dimensiones de orificios de paso de tamiz como” (FONAM, 2010, p. 04).
 - “Macro tamizado: Se lleva a cabo sobre chapa perforada o enrejado metálico con paso superior a 0.2 mm. Se emplea para retener materiales en suspensión, flotantes, semiflotantes, residuos vegetales o animales de tamaño entre y varios milímetros” (FONAM, 2010, p. 04).
 - “Micro tamizado: Se utiliza como material tela metálica o plástica de malla inferior a 100 micras. Empleado para eliminar materias en suspensión muy pequeñas contenidas en las aguas residuales pretratadas” (FONAM, 2010, p. 04).
- “Desarenador: Filtro que tiene como finalidad separar partículas superiores a las 200 micras. Este procedimiento es necesario para evitar que los sedimentos queden entre los equipos o bombas, además de proteger los aparatos de abrasión. El subproceso dará una eliminación del 90%” (FONAM, 2010, p. 04).
- “Desaceitado y desengrasador: En esta etapa se tiene como objetivo eliminar grasas, aceites y materiales flotantes ligeros en el agua” (FONAM, 2010, p. 04).

“El desaceitado es un proceso que consiste en separar los materiales liquido-liquido, mientras que el desengrase separa los materiales solido-liquido. En los dos casos se eliminan para la insuflación de aire, para desemulsionar las grasas y mejorar la flotabilidad” (FONAM, 2010, p. 05).

b) Tratamiento Primario

Proceso mediante el cual se realiza la remoción de los restos orgánico e inorgánicos:

- “Sedimentación: Proceso mediante el cual se tiene como objetivo fundamental remover de las aguas residuales aquella fracción de solidos que es sedimentable, además de la carga orgánica” (FONAM, 2010, p. 05).
- “Coagulación y Floculación: Los coagulantes metálicos son los más usados en la clarificación de aguas y eliminación del DBO y fosfatos de aguas residuales, dando la ventaja de trabajar como coagulantes-floculantes al mismo tiempo” (FONAM, 2010, p. 06).

“La floculación se realiza inyectando aire a las aguas residuales crudas, o el efluente recirculado del tanque de flotación, este se mezcla nuevamente con las aguas residuales crudas. Los floculantes más usados son los oxidantes, adsorbentes y sílice activa” (FONAM, 2010, p. 06).

- “Tanque Imhoff: El tanque Imhoff tiene una forma rectangular y se compone de una cámara de sedimentación, una cámara de digestión de lodos, y el área de ventilación y acumulación de natas” (FONAM, 2010, p. 07).
- “Digestión Primaria de Lodos: Se produce lodos ya sean primarios o secundarios, compuestos por agua y partículas sólidas. Siendo la proporción de líquido de 95 a 99%, el volumen producido depende del tratamiento y de los factores externos” (FONAM, 2010, p. 07).

“El estado de putrefacción además de producir malos olores, se deben garantizar los tiempos de detección de solidos superiores a los 25 días cuando se tienen aguas residuales con temperaturas promedio entre los 20 - 25°C” (FONAM, 2010, p. 07).

c) Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario o también llamado “Proceso Biológico de Depuración Aerobia”. “Un tratamiento secundario incluye procesos biológicos con una eficiencia de remoción de DBO soluble mayor a 80%” (Norma OS.090, 2006, p. 11).

Según (Metcalf & Eddy, 1995) los procesos biológicos más comunes son lodos activados, lagunas aireadas, filtros percoladores, biodiscos, y tanques de estabilización, los cuales se mencionarán a continuación:

- “Lagunas aireadas: Depósitos donde son tratados bajo la modalidad de flujo continuo sin o con recirculación de sólidos. La recirculación de sólidos a la laguna no presenta diferencia alguna al proceso de fangos activados modificado” (Ramalho, pág. 437).
- Lagunas de estabilización: Conocido también como laguna de oxidación, son empleadas en gran parte del Perú por su bajo costo de construcción y de mantenimiento. “Estas lagunas de oxidación son cantidades de aguas ubicadas en un tanque excavado en el terreno y se clasifican de acuerdo con su actividad biológica en: aerobias, anaerobias o aerobias-anaerobias” (Metcalf & Eddy, 1995).
- “Lodos Activados: Es el proceso mediante el cual se da el tratamiento de aguas residuales y tiene una serie de variaciones, por lo que la norma permite que se diseñen para alcanzar una remoción de 75 a 95% de la DBO” (Manotupa, 2018, p. 66).
- “Filtro Anaerobio: Reactor de flujo ascendente, empacado con soportes plásticos o con piedras de 3 a 5 cm de diámetro. La distribución desordenada del soporte, las purgas no son eficientes, que provoca acumulación lenta y constante de biomasa” (Manotupa, 2018, p. 66).

En la tabla N° 4, se puede observar las características que diferencian los tipos de tratamientos aerobios y anaerobios, desde su eficiencia, operatividad y rentabilidad.

Tabla N° 4 Tratamiento Aerobio vs Tratamiento Anaerobio

AEROBIO	ANAEROBIO
>eficiencia de remoción	<producción de lodos
Operacionalización Comprobada	Menor costo de operacionalización
50% de C es convertido en CO ₂ , 40-50% es considerado biomasa.	95% de C se transforma en biogás; 5% es transformado en biomasa.
60% de producción es nueva biomasa, 40% es perdido como calor.	90% del proceso se retiene CH ₄ , 3-5% es desechado, 5-7% es conservado.
Requiere de mucha energía.	No requiere energía.
El proceso es escueto orgánicamente.	Acepta altas cargas orgánicas.
Se requiere adición de nutrientes.	Bajo requerimiento de nutrientes
Ocupa grandes superficies.	Se requiere disposición de pequeñas áreas
Pocos periodos de arranque.	Largos periodos de trabajo.

Fuente: Adaptado de Arce, 1997

d) Tratamiento Terciario

Un resumen de la secuencia completa de tratamientos que pueden aplicarse a aguas residuales domésticas, y también aguas residuales industriales, se presenta en el siguiente gráfico.

En la figura N° 4 se muestra la secuencia completa de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Figura N° 4: Secuencia completa de tratamiento de aguas residuales domésticas

Fuente: FONAM, 2010

Los métodos para realizar un tratamiento adicional terciario o avanzado, estos métodos son:

- ❖ Osmosis Inversa.
- ❖ Electrodialisis.
- ❖ Destilación.
- ❖ Coagulación.
- ❖ Remoción por espuma.
- ❖ Microfiltración.
- ❖ Extracción por solventes.
- ❖ Intercambio Iónico.
- ❖ Precipitación.
- ❖ Nitrificación y desnitrificación.
- ❖ Infiltración Rápida (IR)

“La infiltración rápida es un método de inundación del suelo, apropiada para tratamiento de aguas residuales domésticas, limitada por características del suelo, costos del terreno y el impacto sobre las aguas subterráneas” (Romero, 1999).

“Los sistemas de infiltración el agua aplicada se infiltra por la superficie, los poros del suelo. Se realiza este método cuando hay suelos muy permeables de textura gruesa, por tanto, las superficies son relativamente pequeñas con cargas hidráulicas elevadas.” (Manotupa, 2018, p. 67).

“El tratamiento se realiza en el suelo. Su principal limitación es el peligro de contaminar las aguas subterráneas en casos de problemas de operación. Para poder evitar ese tipo de situación se debe tener las siguientes características” (Manotupa, 2018, p. 67).

- Pendiente de 3 a 10%
- Nivel freático a 3 m como mínimo
- Permeabilidad alta del suelo
- Área de terreno de 2 a 20 m²/hab.

En la figura N° 5 se muestra el esquema del sistema de IR.

Figura N° 5: Esquema de la trayectoria hidráulica de aplicación para IR

Fuente: Metcalf y Eddy, 1995

- ❖ **Infiltración Lenta (IL):** La necesidad de utilizar la cubierta vegetal en este tipo de sistemas introduce un condicionante estacional a la aplicación anual de agua residual, restringiéndola a las épocas de crecimiento en la zona.

“Los sistemas de IL se pueden clasificar como tipo I (Infiltración Lenta) o de tipo II (Irrigación en cultivo), dependiendo de los objetivos de diseño. Cuando el objetivo principal es el tratamiento de aguas residuales se clasifica como tipo I, y se trata la mayor cantidad de agua residual en la menor área de terreno posible. Los sistemas tipo II se diseñan con la finalidad de reutilizar el agua para la producción agrícola, y consisten en aplicar un caudal suficiente de agua residual cumpliendo con los requerimientos de irrigación de un cultivo.” Crites Tchobanoglous 2000.

“Para la instalación de este sistema es primordial:

- Pendiente del 5 al 20%
- Nivel Freático de 1 a 1.5 m
- Permeabilidad del suelo mediana o moderadamente rápida.
- Área de terreno: 8 – 20 m²/hab” (Manotupa, 2018, p. 68).

En la figura N° 6 se muestra el esquema del sistema de IL.

Figura N° 6: Esquema de la trayectoria hidráulica de aplicación para IL

Fuente: Metcalf y Eddy, 1995

En la figura N° 7 se muestra el esquema del sistema de IL.

Figura N° 7: Esquema de la trayectoria superficial y subterránea IL

Fuente: Metcalf y Eddy, 1995

- ❖ **Esorrentía Superficial (ES):** Sistema utilizado en zonas con pendientes aproximadas de 3 a 8% los suelos deben presentar impermeabilidad nula, en especial arcillas y necesita de organismos vegetales.

“La esorrentía superficial es esencialmente un proceso biológico en el cual se aplica agua residual sobre las zanjas de recolección. A medida que el agua fluye sobre el suelo, una proporción se infiltra, otra se evapora y el resto fluye a los canales de recolección. La renovación del agua se lleva a cabo por medios físicos, químicos y biológicos” Moreno 2013.

“Esta tecnología es viable, de bajo costo, eficiente para tratamiento de aguas residuales con materia orgánica degradable y sometidas a pre-tratamiento de cribado más sedimentación” (Manotupa, 2018, p. 70).

- Pendiente del 5 al 20%
- Profundidad del nivel freático no crítica.
- Superficie requerida: 2,5 – 6 m²/hab.

En la figura N° 8 se muestra del sistema de esorrentía superficial (ES).

Figura N° 8: Esquema del sistema de esorrentía superficial (ES)

Fuente: Metcalf y Eddy, 1995

❖ **Humedales de Flujo libre o superficial (HFL)**

“Los HFL con espejo de agua son balsas, una ciénaga, pantano o canales paralelos con la superficie del agua expuesta a la atmosfera” Romero 1999.

Es un sistema parecido a las lagunas con vegetación, donde solo las plantas se encargan de tratar las impurezas y absorber la materia orgánica.

- “Suelos arcillosos de baja permeabilidad.
- Vegetación inundada hasta una profundidad de 10 a 60 cm.
- La vegetación puede ser cañas o juncos.
- Pendiente del terreno < 5%
- Área requerida: 2,5 a 9 m²/hab” (Manotupa, 2018, p. 70).

En la figura N° 9, se presenta el sistema de (HFL).

Figura N° 9: Esquema de un humedal superficial HFL

Fuente: Metcalf y Eddy, 1995

1.4 Lagunas de estabilización

“Determinadas por su estabilización natural o autodepuración, en la que ocurren fenómenos de tipo físico, químico y biológico. Constituyen la forma más simple en sistema de tratamiento” (Norma OS.090, 2006, p. 11).

Requiere disponibilidad en área donde presente un clima favorable (temperatura y radiación solar). La operación en este tipo de plantas es simple donde se requiere poco o ningún equipo electromecánico.

Objetivos

- Reducir e inactivar los residuos orgánicos presentes en líquidos residuales.
- Disminuir la DBO o DQO del líquido.
- Permitir el reusó del líquido para la agricultura.

Ventajas

- Materia orgánica superior a lo normal.
- Eficiente eliminación de patógenos respecto a otros sistemas.
- Pueden utilizarse para tratar aguas residuales industriales.
- Presenta menores costos de operacionalización y mantenimiento.
- Poco uso de energía.

Clasificación

Existen 3 tipos de lagunas, por su contenido de oxígeno:

a) Lagunas de estabilización aerobias

La principal característica de este tipo de lagunas es que poseen poca profundidad generalmente entre (0,8 – 1,0 m), donde las aguas a tratar se encuentran a condiciones aerobias. La incorporación de oxígeno se da mediante la aireación (difusión aire - líquido) o a través del proceso de fotosíntesis proveniente de los vegetales.

La degradación de la materia orgánica se da cuando las algas liberan oxígeno a través del proceso de fotosíntesis. (Bautista Gómez Rony, 2015)

b) Lagunas de estabilización anaerobias

Se presentan en profundidades mayores a dos metros y menores a cuatro metros, en este tipo de lagunas la actividad fotosintética es suprimida por las elevadas cargas orgánicas donde el oxígeno es ausente en todos sus niveles.

c) Lagunas Facultativas

En esta laguna la estabilización se lleva a cabo en condiciones aerobias como anaerobias. En la primera etapa se mantiene el estrato superior de la laguna mientras que, en el inferior, se realiza la degradación anaerobia en ausencia de oxígeno, en algunos casos se puede incorporar oxígeno de manera artificial.

Los sólidos de gran tamaño sedimentan para formar una capa de fango anaerobio, los materiales orgánicos sólidos y coloidales se oxidan por la acción de las bacterias aerobias y facultativas, empleando el oxígeno generado por las algas presentes en la superficie.

Las ventajas de una laguna facultativa es que presenta una satisfactoria remoción de patógenos, eficiente remoción de DBO, fácil de construir y fácil de operar, no requiere equipamiento, satisfactoria resistencia a las variaciones de carga y remoción de lodo y espaciado entre 10 – 20 años.

- d) Lagunas Aireadas (con aireación artificial) son empleadas generalmente como primera unidad de un sistema, en casos, en casos donde la disponibilidad de terreno es limitada o para el tratamiento de desechos domésticos con altas concentraciones de contaminantes, son muy utilizados en climas fríos, el efluente es de buena calidad si se coloca seguidamente de una laguna de decantación.

Lagunas aireadas de mezcla completa, lagunas aireadas facultativas, laguna facultativa con agitación mecánica y laguna de oxidación aireada.

1.5 Hidráulica de Canales

La hidráulica es una de las ramas de la mecánica de fluidos y ampliamente presente en la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los líquidos.

“Los canales son conductos abiertos o cerrados donde el agua circula debido a la acción de la gravedad y sin ninguna presión, esto quiere decir que el agua fluye impulsada por la presión atmosférica y de su propio peso” (Rodríguez Ruiz, Hidráulica II, 2008, p. 01)

En la figura N° 10 se muestra el flujo de conductos.

Figura N° 10: Flujo en conductos

Fuente: Pedro Rodríguez Ruiz, Hidráulica II, pág. 1

- **Buzón:** Elemento cilíndrico, el diámetro dependerá de las consideraciones de diseño. “Son elementos de concreto, prefabricados o contruidos en el sitio, en la base del cilindro se hace una sección semicircular la cual es encargada de hacer la transición entre un colector y otro” (RNE, 2006, p.01)

Se usan al inicio de la red, en las intersecciones, cambios de dirección, cambios de diámetro, cambios de pendiente, su separación es función del diámetro de los conductos y tiene la finalidad de facilitar las labores de inspección, limpieza y mantenimiento general de las tuberías, así como proveer una adecuada ventilación. “En la superficie tiene una tapa de 60 cm de diámetro con orificios de ventilación” (RNE, 2006, p.01).

- **“Colector:** Tubería horizontal de un sistema de desagüe que recibe la descarga de los ramales o montantes” (Norma OS.070, 2006, p. 02).

En la tabla N° 5 se muestran las velocidades máximas a fin de evitar la erosión de las paredes.

Tabla N° 5 Velocidad Máxima para tuberías de alcantarillado

<i>Material de la Tubería</i>			<i>Agua con fragmentos de Arena y Grava</i>
PVC			6,0
Asbesto Cemento			3,0
Hierro Fundido Dúctil			3,0
Cloruro de Polivinilo			6,0
Poliéster reforzado con fibra de vidrio			3,0
Arcilla Vitrificada			3,5
Concreto Armado de:	140	Kg/cm ²	2,0
	210	Kg/cm ²	3,3
	250	Kg/cm ²	4,0
	280	Kg/cm ²	4,3
	315	Kg/cm ²	5,0
Concreto Armado de curado al vapor	> 280	Kg/cm ²	6,6

Fuente: Reglamento nacional de edificaciones, pág. 59

Los elementos hidráulicos de una sección circular son:

Figura N° 11: Elementos de una sección circular

Fuente: Manual del Usuario Máximo Villón Béjar, Hidráulica, pág. 34

Angulo Interno (θ°). Se puede aplicar la formula iterativa:

$$\theta_o = \frac{2}{D^2} \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_o}} \right)^{3/5} (D\theta_o)^{2/5} + \frac{1}{4} \text{seno}(2\theta_o) + \frac{1}{2}\theta_o \quad (1.1)$$

Dónde:

θ_o = Angulo interno

D = diametro

n = rugosidad de Manning

Q = caudal

S_o = Pendiente de diseño

Tirante (Y). Distancia vertical respecto al espejo del agua y el fondo del canal.

$$Y = \frac{D}{2} (1 - \cos x) \quad (1.2)$$

Dónde:

Y = Tirante hidráulico

D = diametro

x = ángulo interno

Área Hidráulica (A).

$$A = \frac{D^2}{8} (x - \text{sen}x) \quad (1.3)$$

Dónde:

A = Área hidráulico

D= diametro

x = ángulo interno

Radio Hidráulico (R).

$$R = \frac{A}{P} \quad (1.4)$$

- En tubería circular:

$$R = \frac{D}{4} \quad (1.5)$$

Dónde:

A = Área hidráulico

D = diametro

R = Radio hidráulico

Cálculo de la velocidad (V).

$$V = \frac{Q}{D^2 / 4 [\theta - 1/2 \text{seno}(2\theta)]} \quad (1.6)$$

Dónde:

V = velocidad

D = diametro

Q = caudal

θ = Angulo interno

Cálculo del perímetro mojado (P).

$$P = \frac{1}{2} \cdot XD \quad (1.7)$$

Dónde:

P = Perímetro mojado

D = diametro

X = Angulo interno

Formula de Manning

$$V = \frac{R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (1.8)$$

$$Q = \frac{AR^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (1.9)$$

$$Q = VA \quad (1.10)$$

Dónde:

A = Área hidráulico

R = Radio hidráulico

S = Pendiente de diseño

n = rugosidad de Manning

Q = caudal

V = velocidad

1.6 Marco legal en PTAR

En el Perú, existen normas aplicadas para la construcción y el diseño de la PTAR.

Normas y reglamentos que nos ayudan para el diseño de las PTAR.

Actualmente, se cuenta con normas, decretos y resoluciones vigentes relacionadas a la construcción y operacionalización de las PTAR en nuestro territorio.

- Ley de recursos hídricos. - Es aquí donde toma protagonismo la Autoridad Nacional del Agua (ANA).
- Ministerio del ambiente. - Donde se formulan los Límites Máximos Permisibles y los Estándares de Calidad Ambiental.
- Compromiso del Ministerio de vivienda, Construcción y Saneamiento, generando los Valores Máximo-Admisibles (VMA), y considerando en el RNE para los diseños de construcción de obras.

En la tabla N° 6 se muestra el marco legal vigente por el ministerio del medio ambiente.

En el presente el sistema de tratamiento en nuestro país, la encontramos en 2 escenarios:

- Los estándares de los límites Máximos Permisibles (LMP).
- Los Estándares de Calidad Ambientales para Agua (ECA), los cuales se encargan de clasificar a los receptores según las funciones que desempeñan.

Tabla N° 6 Marco legal para el tratamiento de aguas residuales

NORMA	DESCRIPCIÓN	RELEVANCIA EN:
<i>R.M N°273-2013-VIVIENDA</i>	<i>Aprobación del protocolo de monitoreo para las PTAR domesticas o municipales.</i>	<i>Operación</i>
<i>R.J N°224-2013-ANA</i>	<i>Nuevo reglamento para el otorgamiento de autorizaciones de vertimiento y reusó de aguas residuales tratadas, disposiciones y modificaciones.</i>	<i>Operación y construcción</i>
<i>D.S N° 003-2010-MINAM</i>	<i>Definición de LMP para los efluentes de las PTAR domesticas o municipales.</i>	<i>Operación y construcción</i>
<i>REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES, NORMA OS 090</i>	<i>PTAR, define estándares de diseño para diferentes tecnologías de tratamiento de aguas residuales.</i>	<i>Construcción</i>
<i>ORGANISMO MUNDIAL DE LA SALUD (OMS)</i>	<i>Directrices sobre la calidad de las aguas residuales y las normas para el aprovechamiento según un número máximo admisible de bacterias coliformes fecales.</i>	<i>Operación</i>
<i>FONDO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE – PERU – 2010 (FONAM)</i>	<i>Oportunidades de mejoras ambientales para el tratamiento de aguas ambientales en el Perú.</i>	<i>Operación y construcción</i>
<i>SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO (SUNNAS)</i>	<i>Diagnóstico de coberturas del tratamiento de aguas residuales – Lima</i>	<i>Operación y mantenimiento</i>
<i>GOBIERNO REGIONAL DE AREQUIPA, DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD – AREQUIPA</i>	<i>Tratamiento-de-Aguas-Residuales-Domesticas. Arequipa</i>	<i>Operación y mantenimiento</i>
<i>DECRETO SUPREMO N° 004 – 2017 - MINAM</i>	<i>Estándares Nacionales de Calidad Ambiental de Agua.</i>	<i>Operación</i>

Fuente: Elaboración propia.

Es de suma importancia la consideración de los parámetros de LMP para las PTAR, cabe resaltar que no importa el tamaño y el nivel del sistema a usar.

En la tabla N°7 se muestra la lista de LMP.

Tabla N° 7 Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR

<i>PARÁMETRO</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>LMP de efluentes para Vertidos a cuerpos de agua</i>
<i>Aceites y grasas</i>	<i>mg/L</i>	<i>20</i>
<i>Coliformes Termo tolerantes</i>	<i>NMP/100ml</i>	<i>10 000</i>
<i>DBO</i>	<i>mg/L</i>	<i>100</i>
<i>DQO</i>	<i>mg/L</i>	<i>200</i>
<i>Ph</i>	<i>Unidad</i>	<i>6.5 – 8.5</i>
<i>Solidos Totales en suspensión</i>	<i>ml/L</i>	<i>150</i>
<i>Temperatura</i>	<i>°C</i>	<i>< 35</i>

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM

“Cuando se vierte el efluente de la PTAR al cuerpo receptor de agua, se origina una zona de mezcla, luego de la cual, el cuerpo receptor de agua debe cumplir los valores del ECA” (SUNASS, 2015).

“Los ECA establecen el nivel de concentración de elementos, sustancias o parámetros presentes en el agua en su condición de cuerpo, que no representan riesgo significativo para la salud de las personas y el ambiente” (SUNASS, 2015).

En la tabla N° 8 se muestra los “ECA – Agua de algunas categorías establecidas en el Decreto Supremo” (D.S N° 004, 2017, MINAM).

Tabla N° 8 Categoría 3 - Riego de vegetales y bebida animal

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido "c"	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS –QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2500		5000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO3 --N) + Nitritos (NO2--N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO2--N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de Ph	6,5 - 8,5		6,5 - 8,5
Sulfatos	mg/L	1000		1000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Fuente: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

1.7 Parámetros de diseño en PTAR convencionales

Los parámetros de diseño están estipulados en la norma técnica O.S. 090 del Reglamento Nacional de Edificaciones. En la tabla N° 9 se muestra las tecnologías que se emplearan para el tratamiento adecuado, indicando que ventajas y desventajas se tienen al aplicar estas técnicas de depuración de aguas grises. Además, se mencionan cuáles son las consideraciones básicas para el uso de estas técnicas con el fin de evitar posibles consecuencias durante la fase de operación.

Tabla N° 9 Ventajas y desventajas de la Infiltración Rápida (IR)

TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
INFILTRACIÓN RÁPIDA (IR)	<i>Rendimientos altos de depuración.</i>	<i>Colmatación rápida del lecho filtrante.</i>
	<i>Reutilización del agua depurada.</i>	<i>Mantenimiento periódico de la superficie de aplicación.</i>
	<i>Bajo costo de operación y mantenimiento de las instalaciones.</i>	
	<i>No precisa el empleo de aditivos.</i>	<i>Disposición del terreno suficiente, formado por materiales de permeabilidad alta.</i>
	<i>Mantenimiento de personal poco especializado.</i>	<i>No son operativos cuando existen pendientes de más de 20%.</i>
	<i>Reducciones medias de DBO5 y sólidos en suspensión alrededor del 90%</i>	
	<i>Elevada eliminación de patógenos.</i>	
	<i>Eliminación del fósforo y reducción considerable de nitrógeno y metales pesados</i>	
	<i>No existen limitaciones climáticas.</i>	
	<i>Segura desde un punto de vista ambiental siempre y cuando se cumplan con las restricciones propias de método.</i>	
	<i>Las pendientes no es un factor crítico, sin embargo, pendientes muy grandes obligan a grandes movimientos de tierras.</i>	

Fuente: Crites Tchobanoglous 2000

En la tabla N° 10 se muestra las ventajas y desventajas de la Infiltración Lenta (IL).

Tabla N° 10 Ventajas y desventajas de la Infiltración Lenta (IL)

TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
INFILTRACIÓN LENTA (IL)	<i>Se puede usar en terrenos irregulares, con pendiente de hasta 10%</i>	<i>Aumento considerable de la humedad en el terreno.</i>
	<i>Se aplica en terrenos donde el nivel freático se encuentre entre 1.0 y 1.5m</i>	<i>Requieren de mucha atención del controlador para evitar atascamiento de agua en los surcos.</i>
	<i>Se puede usar en suelos fácilmente erosionados y de moderada permeabilidad.</i>	<i>Riesgo de contaminación del acuífero cuando el nivel freático sea alto.</i>
	<i>Usualmente no es necesario el control aguas abajo.</i>	<i>Puede producir molestias como mal olor, moscas y mosquitos.</i>
	<i>Reduce el impacto ambiental en los cauces naturales.</i>	<i>Se aplican en aguas residuales no industriales y sin contaminantes nocivos para los cultivos.</i>
	<i>No precisa personal especializado para el control de la depuradora.</i>	

Fuente: Crites Tchobanoglous 2000

En la tabla N° 11 se muestra las ventajas y desventajas de la Escorrentía Superficial (ES).

Tabla N° 11 Ventajas y desventajas de la Escorrentía Superficial (ES)

TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
ESCORRENTÍA SUPERFICIAL (ES)	<i>Bajo costo de instalación y mantenimiento.</i>	<i>Pendientes superiores a 8% tienen un riesgo grande de causar surco y erosión.</i>
	<i>Ofrece menores demandas energéticas.</i>	<i>Las precipitaciones continuas reducen en el rendimiento, provocando encharcamientos y saturaciones del suelo.</i>
	<i>Utilización de suelos de permeabilidad baja (arcillas y limos).</i>	<i>Bajas temperaturas disminuyen la actividad biológica en el suelo.</i>
	<i>El líquido proveniente de la depuración puede ser reutilizado para el riego.</i>	<i>Son menos eficientes en la etapa de depuración.</i>

Son efectivos en la remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Solido suspendidos totales (SST), nitrógeno y compuestos orgánicos.

Fuente: Crites Tchobanoglous 2000

En la tabla N° 12 se muestra las ventajas y desventajas del Humedal de Flujo Superficial (HFL).

Tabla N° 12 Ventajas y desventajas del Humedal de Flujo Superficial (HFL)

TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
HUMEDAL DE FLUJO SUPERFICIAL (HFL)	<i>Proporcionan tratamiento efectivo y minimizan la necesidad de equipos mecánicos, electricidad y monitoreo permanente.</i>	<i>Las necesidades de terreno pueden ser grandes, para remoción de nitrógeno o fosforo.</i>
	<i>Adecuado para el tratamiento de aguas residuales de pequeñas poblaciones.</i>	<i>En climas fríos las bajas temperaturas reducen la tasa de remoción de DBO y de las reacciones biológicas responsables de la nitrificación y des nitrificación.</i>
	<i>Menor coste en la construcción, operación y mantenimiento.</i>	<i>Aumento de tamaño de humedal.</i>
	<i>Soportan variaciones de caudal eficientemente. Proporcionan una adición valiosa al " espacio verde " de la comunidad, e incluye la incorporación de hábitat de vida silvestre.</i>	<i>Proliferación de mosquitos y otros insectos.</i>
	<i>No producen lodos residuales. Facilitan la reutilización del agua.</i>	<i>Limitación de pendiente del terreno inferior al 5%.</i>

Fuente: Crites Tchobanoglous 2000

En la tabla N° 13 se muestra las ventajas y desventajas del Humedal de Flujo Subsuperficial (HSS).

Tabla N° 13 Ventajas y desventajas del Humedal de Flujo Subsuperficial (HSS)

TECNOLOGIA DE TRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (HSS)	<i>Alto rendimiento para la remoción de MO, DBO, DQO, SST, N, P y metales pesados.</i>	<i>No recomendable en zonas con climatología externa.</i>
	<i>Integración en el medio. Requieren menos superficie que los humedales de flujo libre.</i>	<i>Limitación de pendiente del terreno inferior al 5%. Operación eficiente hasta que se desarrolla la vegetación (3-6 meses)</i>
	<i>Problemas de olores e insectos mínimos</i>	<i>Existen cuidados durante el proceso de construcción, errores conllevan deficientes procesos de tratamiento y a altas inversiones de reconstrucción.</i>
	<i>Poco o nulo consumo energético. Bajo coste de operación y mantenimiento.</i>	<i>La retención de metales pesados aumenta su acumulación en los sedimentos del lecho filtrante que con el tiempo reduce la eficiencia del proceso siendo necesario la renovación del medio granula, implicando mayores costos.</i>

Fuente: Crites Tchobanoglous 2000

1.8 Dificultades de operación

En el Perú, la cobertura del tratamiento de aguas residuales (PTAR) es baja, aunque ha mejorado considerablemente entre 2013 y 2015:

- Las PTAR existentes en la actualidad sufren problemas de operacionalización.
 - Funcionamiento de Plantas de Aguas Residuales que han cumplido su vida útil por lo que las plantas quedan sobrecargadas.
 - Los Sistemas de Lagunas que no son precedidos de cámara de rejillas, ni desarenadores ocasionando en lagunas primarias las esquinas que si no son acumulación de material flotante en las esquinas que si no son retiradas con frecuencia causaran malos olores y criadero de insectos.
 - En lagunas con oxigenación inducida con aireadores tienen problemas por ingreso de fibras, cabellos que obstruyen los impulsores.

- Se evidencian deficiencias en la selección de tecnología de tratamiento en la PTAR, para el diseño, construcción y operacionalización.
 - Las plantas sub dimensionadas, en algunos casos se han considerado parámetros de diseño DBO5 teóricos sin realizar ningún tipo de caracterización del agua residual de la zona.
 - Falta de revestimiento interior en el talud que evita la formación de maleza. Optando por extraer de raíz dañando la impermeabilidad del talud.

1.9 Parámetros de optimización en PTAR convencionales.

1.9.1 Rendimiento de la PTAR

“Se considera que la adecuada aireación del filtro y la temperatura ambiente son los dos factores externos al diseño de este que más influyen en su rendimiento” (Moreno, Ed, 2003).

“En el peor de los casos una laguna anaerobia funciona igual que un decantador primario, alcanzando rendimientos del 30% y 60% en DBO5 y sólidos en suspensión respectivamente” (Moreno, Ed, 2003).

En la tabla N° 14, podemos visualizar los rendimientos de los sistemas de tratamiento.

Tabla N° 14 “Comparación en el rendimiento de diversos sistemas naturales de depuración de aguas residuales urbanas”

<i>SISTEMA DE TRATAMIENTO</i>	<i>RENDIMIENTOS (%)</i>					<i>PRODUCCIÓN</i>	<i>RECOGIDA</i>
	<i>DBO5</i>	<i>DQO</i>	<i>SS</i>	<i>P</i>	<i>N</i>	<i>N DE FANGOS</i>	<i>DE FANGOS</i>
<i>FILTRO VERDE</i>	90 - 95	90 - 95	95 - 99	85 - 90	90 - 95	<i>NO</i>	<i>NO</i>
<i>INFILTRACIÓN RÁPIDA</i>	90 - 95	70 - 80	90 - 95	25 - 40	30 - 95	<i>REDUCIDA</i>	<i>> 6 meses</i>
<i>ESCORRENTÍA SUPERFICIAL</i>	90 - 95	60 - 70	70 - 80	20 - 30	45 - 50	<i>NO</i>	<i>NO</i>
<i>LECHO DE TURBA</i>	80 - 85	80 - 85	90 - 95	10. - 30	10. - 50	0,5 - 1	<i>> 1 año</i>
<i>LAGUNAJES</i>	80 - 85	60 - 80	70 - 90	40 - 60	55 85	-	<i>5 - 10 años</i>

DBO5: Demanda bioquímica de oxígeno, DQO: Demanda química de oxígeno, SS: Sólidos en suspensión, P: Fosforo en cualquiera de sus formas, N: Nitrógeno en cualquiera de sus formas.

Fuente: (L. Moreno, ed. - Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2003).

2 MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Material

2.1.1 Población

Se toma como población a la cantidad de PTAR construidas o en proceso de construcción en el departamento de Arequipa. En dicha región a lo largo del año 2017 se obtuvo 36'557,923.21 m³ de aguas residuales tratadas según el informe de la página web SEDAPAR 2017.

Por tal motivo, es importante mejorar las condiciones de vida del trabajador y el área de influencia de este, optimizando la planta de tratamiento y dando una solución viable al principal agente de contaminación ambiental.

2.1.2 Muestra

En la tesis de investigación se analizará el distrito de Vitor, ocupando el 2.5% de la superficie total regional de Arequipa. El presente estudio nace a razón de que el distrito presenta deficiencias en las plantas de tratamiento de agua residuales, además de contar con el deterioro de las redes matrices y de distribución.

2.2 Método

2.2.1 Nivel de Investigación

El tipo de investigación que se implementará en la presente tesis corresponde a la investigación exploratoria y descriptiva. Revisando todos los aspectos requeridos para conocer mejor el tema y poder caracterizar el proceso de depuración en canales de fuerte pendiente. Si al final de la investigación se concluyen que lo publicado no es suficiente para conocer el fenómeno entonces se indicara que en investigaciones subsiguientes se realizara la investigación experimental.

Investigación Descriptiva. - Mediante la investigación descriptiva se identificará la estructura de los procesos de depuración de las PTAR, las características y componentes del agua residual. Asimismo, la depuración existente en las

pendientes pronunciadas del terreno que no son consideradas al momento de realizar los diseños de las PTAR hoy en día.

Investigación exploratoria. - Mediante la investigación exploratoria se identificará el problema que se pretende estudiar y conocer. En esta etapa de la investigación se obtendrá la información inicial para continuar con una investigación más rigurosa sobre la teoría estructurada de los procesos de depuración de las PTAR, las características y componentes del agua residual.

Asimismo, la depuración existente en las pendientes pronunciadas del terreno que no son consideradas al momento de realizar los diseños de las PTAR hoy en día.

2.2.2 Diseño de Investigación

En la presente tesis de investigación de carácter cuantitativo y cualitativo, debido a su conformación de conocimientos teóricos, usando como base investigaciones previas por distintos autores.

Está orientada a la solución de problemas dentro del campo de la Ingeniería Civil, para nuestra investigación nos centramos en el interés de aplicar ciertos conocimientos teóricos que nos ayuden a demostrar la depuración de contaminantes en los tramos de pendientes pronunciadas.

La depuración se da a lo largo de la red colectora de saneamiento, se logra mayor depuración de contaminantes cuando el flujo es más turbulento debido al incremento de la velocidad del caudal que está relacionado a la pendiente del terreno, logrando así que llegue a la PTAR en menor concentración. Estos procesos de depuración existentes en los tramos con pendientes pronunciadas no son considerados en la Norma OS – 090, a pesar de que en estas condiciones geográficas particulares se presenta la remoción del DBO y SST en el trayecto de la red de alcantarillado como se demuestra en la presente investigación, logrando reducir el volumen y área de la PTAR al momento del diseño.

El diseño de investigación es de tipo documental, ya que se pretende realizar un acercamiento teórico del tema a tratar, con base a investigaciones y análisis previos con el fin de determinar los problemas más frecuentes con relación a las

PTAR y por qué actualmente no se cuenta con las suficientes PTAR a nivel nacional. Realizando 2 diseños donde se incorporen cálculos que serán evaluados y comparados para sustentar la optimización de la PTAR.

2.2.3 Variables de estudio y operacionalización

En las variables de estudio y operacionalización identificamos los elementos independientes y dependientes que serán estudiados. El poder identificar estas variables de estudio con su unidad de medida e instrumento de investigación es de suma importancia ya que nos ayudara a cumplir los objetivos planteados en la presente tesis. Las cuales se encuentran detalladas en la tabla N° 15 como variables de estudio independiente y en la tabla N° 16 como variable de estudio dependiente.

Tabla N° 15 Variables de estudio Independiente y operacionalización

<i>Variable</i>	<i>Dimensiones</i>	<i>Indicadores</i>	<i>Unidad de Medida</i>	<i>Instrumento de Investigación</i>
<i>Independiente (VI):</i>				
<i>X1: Pendiente pronunciada en la red de alcantarillado y conducción a la PTAR</i>	<i>Pendiente</i>	<i>Pendiente</i>	<i>Adimensional</i>	<i>De Campo</i>
<i>X2: Calidad del agua a la entrada de la PTAR</i>	<i>Orgánico</i>	<i>DBO</i>	<i>mg/l</i>	<i>Laboratorio</i>
	<i>Físico</i>	<i>Caudal</i>	<i>L/s</i>	<i>Laboratorio</i>
		<i>Temperatura</i>	<i>°C</i>	<i>De Campo</i>
	<i>Químico</i>	<i>DQO</i>	<i>O2 mg/l</i>	<i>Laboratorio</i>
		<i>SST</i>	<i>mg/l</i>	<i>Laboratorio</i>

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 16 Variables de estudio Dependiente y operacionalización

<i>Variable</i>	<i>Dimensiones</i>	<i>Indicadores</i>	<i>Unidad de Medida</i>	<i>Instrumento de Investigación</i>
<i>Dependiente (VD):</i>				
<i>Y: Dimensiones y características de la PTAR</i>	<i>Volumen</i>	<i>Largo, ancho y alto</i>	<i>m3</i>	<i>Documental</i>
	<i>Tiempo</i>	<i>Tiempo de retención</i>	<i>Día</i>	<i>Laboratorio</i>
	<i>Calidad del agua efluente</i>	<i>DBO, salida</i>	<i>mg/l</i>	<i>Laboratorio</i>

Fuente: Elaboración propia

2.2.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos primaria será mediante los datos obtenidos de SEDAPAR a través de la página web de esta y la técnica de observación directa, la información secundaria proveniente del marco teórico y legal aplicable a la investigación, se realizará la revisión de informes sobre la situación actual de las PTAR a nivel nacional, datos estadísticos, análisis experimentales. Donde se usará datos proporcionados por una entidad prestadora de servicios de alcantarillado y saneamiento, señalando la fuente de los datos, así como flujos de entrada y salida a la PTAR.

2.2.5 Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos

El procesamiento y análisis de datos serán realizados con Excel, generando tablas y gráficos que nos han ayudado a interpretar los resultados obtenidos.

No se realizará un modelamiento físico, se analizó toda la documentación existente sobre los modelamientos que se han realizado y la teoría desarrollada por los expertos.

Se aprovecha la pendiente de la zona en relación con los canales construidos en fuerte pendiente, estos presentan constantes caídas del flujo en el trayecto de ingreso la planta de tratamiento. En el interior el agua cargada de contaminantes se mueve a alta velocidad y con gran turbulencia lo que permite mayor aireación, esto contribuye a la depuración de los contaminantes, además el esfuerzo mecánico también produce la fragmentación y mezcla. Para conocer el efecto se analizó la documentación existente del flujo en rápidas, caídas y los procesos de depuración de contaminantes que se originan en la ciudad.

En base a la documentación existente se determinó el nivel de oxidación que se obtiene en el transporte para verificar según las técnicas existentes si producen efectos en la depuración. La evaluación de los resultados se realizó en el último objetivo específico, que incluyen la discusión de los resultados y la comparación con las condiciones de diseño de una planta tradicional con la finalidad de demostrar que al incluir la depuración en el transporte se reduce el tamaño de la planta de tratamiento.

- Enfoques analíticos
 - Enfoque estructural: Para relacionar el problema de la contaminación del agua que se da a causa de las insuficientes plantas de tratamiento de agua residual a nivel nacional, y los procesos de este.
 - Enfoque funcional: Para conocer sus procesos de depuración y cómo influye el transporte de fluidos en los tramos con pendientes pronunciadas existentes para la eliminación de contaminantes en distintas proporciones relacionadas con la pendiente del terreno.

Los tipos de análisis de la investigación son las siguientes:

- Análisis de datos: Se emplearán diversos instrumentos de recolección de datos se dará de la manera más objetiva y precisa, tomando en cuenta la validez de la información y la confiabilidad de los instrumentos utilizados.
- Análisis de contenidos: Se recogerá de diversas fuentes de recolección de información serán de carácter objetivo, contrastables y, sobre todo con fundamentos científicos.
- Análisis estadísticos: La información será presentada gráfica y estadísticamente de manera que permita un mejor análisis e interpretación de la realidad en estudio.
- Sobre replanteos y juicio de expertos se va a estudiar el flujo con relación al aire – agua residual.
- Aprovechar el flujo a alta velocidad en el sistema de alcantarillado y el emisor hasta la PTAR, se extiende en el capítulo 1 Y 3.

3 PROCESOS DE DEPURACIÓN DEBIDO A LA FUERTE PENDIENTE

3.1 Generalidades

Las pendientes de las tuberías de la red de alcantarillado y de conducción a la PTAR se tomarán de acuerdo con la pendiente de la topografía del terreno, teniendo en consideración los valores máximos permisibles para así no rebasar las velocidades y caudales máximos y mínimos. En caso de conducciones de fuerte pendiente, mayor a 2%, se produce aireación que origina un proceso de depuración que se explicará en los párrafos siguientes.

Aireación en canales:

La demanda de aire en conductos cerrados presenta un funcionamiento como lamina libre, puede producirse de forma natural a partir del aire existente en la zona no ocupada por el agua, el cual penetra en el conducto desde su extremo aguas abajo.

“En algunos de los elementos del desagüe en los que se produce el fenómeno de la aireación son: canales de descarga (rápidas), aliviaderos en pozo o escalonados, vertidos en caída libre, cuencos de resalto y trampolines, desagües profundos en lámina libre o en carga, compuertas y válvulas” (Guía técnica N°05 de aliviaderos y desagües, p. 02)

En los conductos cerrados, cuando su funcionamiento es en lámina libre, la aireación natural se produce también por agitación superficial o por vórtices de eje paralelo a la corriente.

- **Parámetros característicos de la aireación:** En el estudio de la aireación se emplean, de carácter general, varios parámetros para cuantificar el arrastre o la demanda de aire. Los de mayor interés son:
 - **Concentración de aire:** (C) es la relación entre el volumen de aire existente en la mezcla agua – aire y el volumen total de esta.
 - **Concentración de agua:** (w) es la relación entre el volumen de agua y el volumen de la mezcla.
 - **Coefficiente de aireación:** (B) es la relación entre el gasto de aire y el gasto de agua.
 -

En la figura N° 12 podemos observar las distintas formas de aireación mencionadas.

Figura N° 12: Aireación Natural

Fuente: Guía técnica N° 5 de aliviaderos y desagües, pág. n°2.

El sistema de alcantarillado está compuesto por los siguientes componentes, que se detallan en la figura N°13.

Figura N° 13: Esquema de la red de alcantarillado

Fuente: Vertimeintos.com

3.1.1 Colectores

Colector principal: Tubería horizontal de un sistema de desagüe que recibe la descarga de los ramales o montantes” (Norma OS.070, 2006, p. 02).

“Este colector toma la denominación de colector de descarga o emisario a partir de la última boca de visita del tramo que recibe aportes domiciliarios, hasta el sitio de descarga en la planta de tratamiento o en curso superficial” (Características generales de los sistemas de alcantarillado, Instituto universitario Santiago merino, p. 37)

En la figura N° 14 se muestra el esquema de la red de colectores.

Figura N° 14: Esquema de la red de colectores

Fuente: BRÜNING, 2013

Criterios para la colocación de colectores:

- ✓ Se deben instalar en el sentido de la pendiente.
- ✓ Deben instalarse en la avenida de fácil acceso.
- ✓ La distancia entre tubería será mínimo 2 metros.

Materiales

El tipo de material de la tubería más utilizado es el de concreto construida según las normas peruanas. Pero en la actualidad se está empleando y reemplazando por tuberías de PVC con junta automática.

- Diámetros mínimos:
En calles $D = 200 \text{ mm}$
- Profundidades mínimas:
Cámaras nacientes $H = 1.6 \text{ m}$

En la figura N° 15 se muestra el detalle de un colector.

Figura N° 15: Detalle típico de un colector

Fuente: BRÜNING, 2013

Figura N° 16: Detalle típico de encuentro de colectores

Fuente: BRÜNING, 2013

3.1.2 Sistemas de Conducción

Los sistemas de conducción generalmente están compuestos por redes secundarias que están conformadas por redes domésticas y cámaras de registro (buzones) que permite la conducción de las aguas residuales.

Figura N° 17: Visualización de un buzón

Fuente: Propia

Las redes primarias normalmente funcionan por gravedad. En las zonas accidentadas se emplearán cámaras de bombeo para trasladar las aguas residuales. A través de los buzones se realiza el mantenimiento preventivo y correctivo de las redes de alcantarillado.

Figura N° 18: Mantenimiento preventivo y correctivo de una red de alcantarillado

Fuente: CONCERTSA, 2013

3.2 Depuración en colectores

3.2.1 Almacenamiento

La funcionalidad de este tipo de sistema es prevenir una inundación. “Para limitar el caudal en hora punta a la capacidad del sistema de alcantarillado aguas abajo de manera que se eviten las inundaciones, especialmente y el vertido de contaminantes a los cursos de agua adyacentes” (Depósitos de retención, p. 08).

Tiene como ventaja la trabajabilidad respecto a su ubicación, por lo que no se necesita de grandes áreas para su conexión con el sistema de alcantarillado, siendo fácil el transporte de las aguas residuales a través de este sistema de almacenamiento. “Hay que añadir además que en estos depósitos lo que más nos interesa es su volumen de almacenamiento, y no tanto la superficie de la planta” (Depósitos de retención, p. 08).

De acuerdo con la norma O.S-090 se considera lo siguiente:

- a) “El compartimiento será dimensionado para almacenar los lodos durante el proceso de digestión de acuerdo con la temperatura. Se usarán los siguientes valores” (Norma OS.090, 2006, p. 20).

En la tabla N° 17 se muestra los Tiempos de digestión de acuerdo con la temperatura.

Tabla N° 17 Tiempos de digestión de acuerdo con la temperatura

<i>TEMPERATURA</i> (°C)	<i>TIEMPO DE</i> <i>DIGESTIÓN (DÍAS)</i>
5	110
10	76
15	55
20	40
25	30

Fuente: Norma técnica O.S.90, 2006

3.2.2 Tiempo de retención

Parámetro que mide la relación expresada en horas entre el caudal a tratar y el volumen del depósito de aireación, en el tratamiento de aguas residuales.

“El tiempo de retención describe el tiempo en el que un volumen de agua residual se encuentra almacenado en la instalación de bombeo, tuberías, colector de

detención, etc. Se estima dividiendo el volumen almacenado entre el caudal de descarga” (Metcalf & Eddy, 1995, p. 463).

“Los tiempos de retención de aguas residuales cortos y largos pueden ser deseables en ciertos casos e indeseables en otros. Durante los tiempos largos de retención, las partículas sólidas existentes en las aguas residuales pueden depositarse si el caudal o la turbulencia no es lo suficientemente fuerte como para mantener las partículas en suspensión. Un tiempo prolongado permite que se desarrolle más procesos fisicoquímicos.” (Metcalf & Eddy, 1995, p. 463).

Para el diseño de la red de conducción, debe considerarse este fenómeno dentro de las consideraciones técnicas.

$$\text{TRH (días)} = V \text{ (m}^3\text{)} / Q \text{ m}^3\text{/día.}$$

Es recomendable máximo 2 días en sistemas sépticos y 30 días en otros sistemas. Para aspectos prácticos de diseño, en la Tabla N° 18 se muestran los tiempos de retención según zonas.

Tabla N° 18 “Días de retención según zonas

Referencia	R (días de retención)
Tanque séptico	1
Laguna facultativa	
. Selva	10
. Costa	15
. Sierra < 3000 msnm	20
. Sierra > 3000 msnm	30”

Fuente: (DIGESA, 2017)

Debemos considerar que la temperatura cumple un rol importante para el periodo de retención en sistemas tratamiento de lagunas facultativas, siendo la temperatura promedio del mes más frío.

3.2.3 Transporte

El transporte para la conducción de los residuos domésticos y aguas residuales se genera a través de la red colectora hasta la PTAR, debemos tener el lugar del proceso, así como la topografía del lugar para su adecuado transporte.

Es decir, la red de colectora recoge tanto las aguas residuales y pluviales. En otros casos, aunque aún en baja proporción, los colectores que llegan a la estación de tratamiento donde transportan tan sólo aguas residuales, mientras que las aguas de lluvia se tienen otro sistema independiente.

También, se disponen bypass parciales detrás de cada etapa del tratamiento de las aguas, para poder proceder al vertido de los efluentes de estas etapas sin pasar por la fase siguiente, en caso de que se registren incidentes operativos. Estos bypass suelen descargar en una misma línea, junto con el bypass general y los efluentes depurados.

3.3 Depuración en la conducción

3.3.1 Transporte

En las redes colectoras se debe prever que tenga velocidad durante todo el día, para tener la seguridad que los residuos sólidos se depositen en la PTAR. Debemos tener en cuenta que velocidades generan arrastres produciendo daños y deterioro en el interior de la red colectora.

“Por otra parte, la velocidad debe ser lo suficientemente alta para que permita generar auto – limpieza de la red, arrastrando la materia que se sedimenta en los conductos, fundamentalmente arenas y materia orgánica que puede entrar en putrefacción” (EOI, Sistemas de alcantarillado, 2016, p. 33).

3.3.2 Buzones

Sirve para inspeccionar las tuberías. En un lugar desde donde se puede desobstruir la red de alcantarillado. Con estos se pierde su eficacia si las longitudes son grandes, debe preverse máximo de 15 metros entre cámara y cámara, que es el valor que se estima práctico para la longitud de un elemento de limpieza. En la figura N° 19, se muestra el detalle típico de un buzón.

Se debe instalar un buzón:

1. Al comienzo de las nacientes.
2. Cuando cambie el sentido del flujo.
3. Cuando se presenten cambios en la topografía.
4. Cuando cambien los diámetros de la red colectora.
5. Para diferentes tipos de tubería.
6. Confluencias en dos o más encuentros
7. Su distancia máxima de separación entre buzones era de 30 metros.

Figura N° 19: Detalle típico de un buzón

Fuente: BRÜNING,

3.4 Depuración de la materia orgánica

Los parámetros más utilizados para evaluar la calidad de sus efluentes son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), que caracteriza la carga orgánica; y el número más probable de coliformes fecales (N MP CF /100 ml), que caracteriza la contaminación microbiológica, los sólidos totales (sedimentales, en suspensión y disueltos).

La biodegradación de los sistemas colectores se da a través de la relación del DBO5 y DQO estableciendo los siguientes parámetros.

$\geq 0,4$ aguas muy biodegradables.

0,2 – 0,4 aguas biodegradables.

$\leq 0,2$ aguas poco biodegradables.

De igual manera en la forma como fluctúan a lo largo del día los caudales de las aguas residuales que llegan a las estaciones depuradoras, fluctúan también sus componentes, tal como se puede apreciar en la figura N° 20.

Figura N° 20: “Evolución diaria del caudal, de los sólidos en suspensión y la DBO5 en las aguas residuales urbanas”.

Fuente: (CENTA, 2008)

3.5 Incorporación de aire

3.5.1 Flujo con admisión de aire en canales

En el caso de flujo en canales donde las pendientes son extremadamente fuertes, el flujo puede alcanzar con gran rapidez altas velocidades y debido a esto producir una mezcla de aire en la masa de agua, antes que se formen ondas de Froude.

Se dificulta el cálculo de este tipo de flujo debido a la formación de la capa limitante en la sección 0 y C, en la figura 21 se observa que abajo del punto C la superficie libre de agua están fuertemente onduladas por efecto de la turbulencia, permitiendo la mezcla agua-aire, por tanto, en los cálculos se debe considerar la formación de la capa limite y la auto aeración.

Figura N° 21: Representación esquemática del flujo en una rápida

Fuente: Naudascher, 2002

Ecuación del Caudal Unitario:

$$y_w = \int_0^{\infty} (1 - c) dy; q = y_w \cdot V_w \quad (3.1)$$

Dónde:

y_w = Profundidad de agua clara perpendicular al fondo

q = Caudal unitario

V_w = Velocidad media de agua clara

c = Concentración de aire

Concentración media de aire en la profundidad:

$$y_w = (1 - \bar{C})y_{90} \quad (3.2)$$

Dónde:

y_{90} = Distancia perpendicular al fondo del canal

$\bar{C}$ = Concentración media de aire en la profundidad

Ley de distribución de velocidades para flujo uniforme:

$$\frac{V_w}{V_{90}} = \left(\frac{y}{y_{90}} \right)^{0.158} \quad (3.3)$$

Dónde:

V_w = Velocidad media de agua clara

V_{90} = Velocidad de la corriente a una distancia

En la figura N° 22 se muestra la relación entre los coeficientes de resistencia para flujo totalmente autoaerado y para flujo sin aire al inicio de la auto aeración como función de la concentración media de aire

Figura N° 22: Relación entre los coeficientes de resistencia para flujo totalmente autoaerado y para flujo sin aire al inicio de la auto aeración como función de la concentración media de aire

Fuente: Naudascher, 2002

Dónde:

λ_c = Flujo totalmente autoaerado

λ_w = Flujo sin aire al inicio de la autoaeración

$\bar{c}$ = Concentración media de aire

Distribución de la concentración de aire:

Según Wood (1987), la influencia de k/Y_a es insignificante, por lo menos en el intervalo investigado por él y por Caín, $37 < Y_a/k < 134$. La interdependencia entre C_n y θ en la figura N° 23, se puede considerar, por tanto, como universalmente válida.

Figura N° 23: Distribución de la concentración de aire normal en el fondo del canal para flujo uniforme, autoaerado en función del ángulo de inclinación θ .

Fuente: Naudascher, 2002

Para la degradación de sólidos

“Toda población genera residuos sólidos, líquidos y gaseosos. Donde la parte líquida es esencialmente el agua que desecha la comunidad una vez que ha sido contaminada por los diferentes usos para los cuales ha sido empleada, por lo que se denomina aguas residuales” (Metcalf & Eddy, 1995, p. 01).

La degradación de los sólidos en las aguas residuales nos permite que los residuos orgánicos puedan auto depurarse por intermedio de microorganismos, que son utilizados por los mismo como su alimento y energía en su proceso de reproducción para su metabolismo.

Al conocer el DBO podemos saber el grado de contaminación en los cuerpos receptores, por ello que es de suma importancia su estudio y procesos de tratamiento.

Principales componentes del DBO: La DBO, generalmente es producida en el agua, por 2 componentes:

- Materia orgánica disuelta
- Materia orgánica coloidal

Los componentes externos que influyen en la producción biológica del DBO son: el grado de temperatura, pH, el clima y la toxicidad. De todos ello el más influyente es la temperatura en la tabla N° 19 indicamos la relación de la temperatura con el DBO:

Tabla N° 19 Relación de la temperatura y el % de descomposición orgánica

<i>TEMPERATURA °C</i>	<i>5</i>	<i>10</i>	<i>15</i>	<i>20</i>	<i>25</i>	<i>30</i>
<i>% DE DESCOMPOSICIÓN ORGÁNICA</i>	<i>10.9</i>	<i>13.5</i>	<i>16.7</i>	<i>20.6</i>	<i>25.2</i>	<i>30.5</i>

Fuente: Sánchez, 1994.

Cuando la temperatura se mas elevada el proceso biológico será más eficiente. La biodegradabilidad en los compuestos residuales es una propiedad que se presentan en estas sustancias, permite que puedan ser depurados por medio de microorganismos.

A continuación, “se presentan valores de DQO en relación con la concentración de sustrato: 1g/l de glucosa posee una DQO de 1,4 g/l” (Henze, 1995), “1g/l de grasa de cerdo corresponde 2,1 g/l de DQO y 1 g/l de aceite girasol a 2 g/l de DQO” (Cisterna, 1991).

“La biodegradabilidad de un efluente va a estar dada por la relación de la demanda bioquímica de oxígeno a la demanda química de oxígeno.

De este índice se tiene una referencia acerca de la biodegradabilidad de un efluente determinado” (Hernández, 1992).

En tal sentido cuando se tiene:

$$(DQO/DBO_5) < 2.5$$

Así mismo la relación del DQO Y DBO5 se presenta en los siguientes parámetros:

$$2.5 < (DQO/DBO5) < 5$$

Flotación con aire disuelto

La flotación de material sólido dependerá mucho en gran medida de la solubilidad del nitrógeno y el oxígeno en el agua. Este proceso es la eliminación de los sólidos que se presentan en el sistema en un periodo de suspensión para poder invertir la sedimentación de stocks y la coagulación de estos. En este proceso de disolución se utiliza aire inducido a bajas presiones, así como también se puede generar la disolución mediante aire comprimido.

Según David. L. Russell, la mayoría de los sólidos en los tratamientos de aguas residuales tienen una densidad menor a 2 g/cm³. La sílice tiene una densidad de 2.65g/cm³.

Según la ley de Henry, la inversa de la constante aplicada en su ley, multiplicada por la presión parcial del gas sobre la disolución, representa la solubilidad molar del sólido. Donde se establece el siguiente parámetro El oxígeno a 1 atm puede llegar a tener una solubilidad molar de:

$$(1/756,7) \text{ mol/dm}^3 \text{ o } 1.32 \text{ mmol/dm}^3$$

En la figura N° 24, se muestran las curvas atípicas, sobre la relación de aire/sólidos.

Figura N° 24: Rendimiento de un sistema de flotación por aire disuelto

Fuente: Russell, 2012

3.5.2 Incorporación con pendientes

En general se usarán en el diseño secciones circulares de PVC funcionando como canales abiertos. El cálculo de la capacidad, velocidad, diámetro y pendientes se hará aplicando la fórmula de Manning, transformada al sistema métrico para secciones circulares. No podrá haber disminución de diámetros, aguas abajo del sistema, aunque haya fuerte aumento en la pendiente.

La OS. 090, establece que las tuberías de descarga de las partículas removidas deberán tener una pendiente mínima de 2% y una pendiente máxima de 10%.

En la figura N° 25 podemos observar la distribución Longitudinal de los flujos aireados que pueden estructurarse en las siguientes zonas.

Figura N° 25: Estructura longitudinal de los flujos aireados

Fuente: Falvey, 1980

4 INFORMACIÓN BÁSICA

4.1 Delimitación del Área de estudio

4.1.1 Ubicación

El área de estudio para la presente investigación está situada en el distrito de Vítor, provincia y departamento de Arequipa. “Vítor se ubica a 67 Km al Noroeste de la ciudad de Arequipa, en el Kilómetro 955 de la Carretera Panamericana Sur, tiene una extensión territorial de 1,543.5 Km², que equivale al 2.5% de la superficie total regional” (wikipedia.org, Distrito de Vítor). El centro del distrito se ubica en el margen derecho del Río Vítor a 1620 msnm en la provincia y departamento de Arequipa. En la figura N° 26 se muestra la Macro localización del distrito de Vitor.

Figura N° 26: Macro localización del Distrito de Vítor

Fuente: Google, imágenes.

Los límites del distrito de Vítor son los siguientes:

“Por el Este y el Oeste:	Distrito de San Juan de Sigas
Por el Sur:	Provincia de Islay
Por el Norte:	Distrito de Yura” (wikipedia.org,
Distrito de Vítor).	

4.1.2 Población

“El distrito de Vítor presenta una población de 2, 622 habitantes según el censo del 2017,” (INEI, 2017) y para la investigación se ha proyectado una población de 3, 264 al año 2039.

4.1.3 Clima

“El clima de Vítor es predominantemente templado, siendo notoriamente más cálido en las estaciones de primavera y verano. En los meses comprendidos entre enero y marzo no se presentan las precipitaciones estacionales muy irregulares” (EDOC. PUB, Memoria descriptiva de agua potable, 2020, p.02).

La clasificación del clima de *Köppen-Geiger es BWh*, en Vítor la temperatura media anual es de 19.4 °C y la precipitación media anual es de 4mm (Climate-Data.Org, s.f). En la figura N° 27 se muestra el climograma del distrito de Vítor.

Figura N° 27: Climograma del Distrito de Vítor

Fuente: Climate-Data.Org, s.f

Las temperaturas en el distrito de Vítor son mayores en el mes de enero bordeando los 20.6 °C y mes de junio, y la temperatura media en el mes de junio, se tiene la temperatura más baja del año bordeando los 17.9 °C. En la figura N° 28 se muestra el diagrama de temperatura del distrito de Vítor y en la figura N° 29 se muestra la tabla climática del distrito de Vítor.

Figura N° 28: Diagrama de Temperatura del Distrito de Vítor

Fuente: Climate-Data.Org, s.f

Figura N° 29: Tabla Climática del Distrito de Vítor

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	20.6	20.6	20.4	19.6	19.4	17.9	17.9	18.1	18.8	19.5	19.7	19.8
Temperatura mín. (°C)	13.9	14	13.4	12.5	12	10.2	10.4	10.4	11.2	12	12.3	12.8
Temperatura máx. (°C)	27.4	27.2	27.4	26.8	26.8	25.6	25.4	25.8	26.5	27.1	27.2	26.9
Temperatura media (°F)	69.1	69.1	68.7	67.3	66.9	64.2	64.2	64.6	65.8	67.1	67.5	67.6
Temperatura mín. (°F)	57.0	57.2	56.1	54.5	53.6	50.4	50.7	50.7	52.2	53.6	54.1	55.0
Temperatura máx. (°F)	81.3	81.0	81.3	80.2	80.2	78.1	77.7	78.4	79.7	80.8	81.0	80.4
Precipitación (mm)	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Climate-Data.Org, s.f.

4.1.4 Actividades económicas

Dentro de las principales actividades económicas que llevan a cabo los pobladores del distrito de Vítor tenemos los siguientes:

a) Actividad agrícola y pecuaria

La agricultura y la ganadería son las principales actividades de la población de Vítor, pero este aún tiene una práctica doméstica, sin embargo, es la principal fuente de sus recursos.

b) Comercialización y mercado

En la zona de estudio el canal de comercialización es de productores – Acopiadores – Mayoristas – Minoristas – principalmente la comercialización se realiza en el mercado de Arequipa.

Los principales mercados para vender sus productos son las ferias que se realizan los fines de semana en el distrito de Vítor.

4.2 Características de las aguas residuales

Para la presente investigación, se ha tomado como datos los muestreos del agua residual realizada por la empresa SAG S.A.C. en el distrito, provincia de Caravelí y departamento de Arequipa en el año 2016. Lugar que presenta gran similitud con el área de estudio para la presente tesis.

El agua residual en el distrito de Caravelí es muy similar teniendo en cuenta que ambos distritos provienen de valles costeros, la actividad económica principal es la agricultura y ganadería, y el agua residual es de tipo doméstico. Además, la población de Caravelí está en el rango de poblaciones menores a 5000 mil habitantes.

En la figura N° 30, podemos las características del agua residual realizadas del muestreo realizado en el distrito de Caravelí.

Figura N° 30: Muestra del Agua Residual

Fecha de Monitoreo	2016-05-20	2016-05-20	2016-05-20	UNIDAD	LMP ⁽¹⁾
Hora de Monitoreo	11:00	13:00	15:00		
PARÁMETROS	AGUA RESIDUAL				
	AR-2(a)	AR-2(b)	AR-2(c)		
Parámetros de Campo					
Ph	8.13	8.20	8.27	Unid. pH	6,5 – 8,5
Temperatura	22.1	23.1	24.2	°C	<35
Parámetros Fisicoquímicos					
Cianuro WAD	<0.005	<0.005	<0.005	mg/L	---
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	201.60	212.20	193.40	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	470.7	457.3	460.7	O ₂ mg/L	200
Fenoles	<0.001	0.048	0.034	mg/L	---
Fósforo Total o fósforo (P)	13.250	13.330	13.368	P mg/L	---
Nitrógeno Amoniacal / NH ₃	62.90	65.80	63.10	NH ₃ ⁺ -N mg/L	---
Nitrógeno total (NTK)	64.50	69.40	66.30	NH ₃ ⁺ -N mg/L	---
SAAM (Detergentes)	3.504	3.688	2.640	mg/L	---
Sólidos Suspendedos Totales (TSS)	126.50	148.40	114.50	mg/L	150
Sólidos Volátiles	126.50	148.75	114.50	mg/L	---
Sulfatos	112.89	111.11	100.71	SO ₄ ²⁻ mg/L	---
Sulfuros	0.517	0.815	1.049	S ²⁻ mg/L	---
Caudal	1.97	2.04	1.78	L/s	---
Parámetros Orgánicos					
Aceites y grasas (HEM)	5.1	6.1	0.7	mg/L	20
Parámetros Biológicos					
Concentración de Coliformes Fecales ⁽²⁾	49 x 10 ⁵	49 x 10 ⁵	70 x 10 ⁵	NMP/100mL	---
Concentración de Coliformes Totales	70 x 10 ⁵	70 x 10 ⁵	110 x 10 ⁵	NMP/100mL	10 000

Fuente: SAG.SAC, 2016

4.2.1 pH. - Del resultado de la muestra obtenida en las estaciones de monitoreo en la figura N° 31, podemos observar los valores obtenidos, estos se encuentran dentro de los valores que establece el (Decreto Supremo N° 003, 2010, MINAM).

Figura N° 31: Valores de pH

Fuente: SAG.SAC, 2016

4.2.2 Sólidos Suspendidos Totales. - El resultado de la muestra registrada en las estaciones de monitoreo se muestran a continuación mediante la figura N° 32, observándose que se encuentra dentro de los valores que establece el (Decreto Supremo N° 003, 2010, MINAM).

Figura N° 32: Sólidos Suspendidos Totales

Fuente: SAG.SAC, 2016

4.2.3 Temperatura. - La temperatura del agua residual obtenido de las tres estaciones de monitoreo se muestran a continuación mediante la figura N° 33, observándose que se encuentra dentro de los valores que establece el (Decreto Supremo N° 003, 2010, MINAM).

Figura N° 33: Temperatura

Fuente: SAG.SAC, 2016

4.2.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno. - La demanda bioquímica de oxígeno del agua residual obtenido de las tres estaciones de monitoreo se muestran a continuación mediante la figura N° 34, observándose que están por encima de los valores que establece el (Decreto Supremo N° 003, 2010, MINAM).

Figura N° 34: DBO

Fuente: SAG.SAC, 2016

4.2.5 Demanda Química de Oxígeno. - La demanda química de oxígeno del agua residual obtenido de las tres estaciones de monitoreo se muestran a continuación mediante la figura N° 35 observándose que están por encima de los valores que establece el (Decreto Supremo N° 003, 2010, MINAM).

Figura N° 35: DQO

Fuente: SAG.SAC, 2016

4.2.6 Aceites y grasas. - Los aceites y grasas del agua residual obtenido de las tres estaciones de monitoreo se muestran a continuación mediante la figura N° 36, observándose que están por debajo de los valores que establece el (Decreto Supremo N° 003, 2010, MINAM).

Fuente: SAG.SAC, 2016

4.2.7 Concentración de Coliformes Totales. - Los aceites y grasas del agua residual obtenido de las tres estaciones de monitoreo se muestran a continuación mediante la figura N° 37, observándose que están por debajo de los valores que establece el (Decreto Supremo N° 003, 2010, MINAM).

Fuente: SAG.SAC, 2016

4.3 Caudal del agua residual

“La cantidad de aguas residuales depende de la población servida o grado de cobertura del sistema de alcantarillado, de la cantidad de agua consumida, las condiciones climáticas y el tipo de sistema de alcantarillado” (Docplayer.es, Criterios de diseño estructural PTAP, 2017, p. 23).

$$Q_p = \text{Población} \times \text{dotación} \times 80\%$$

En la Tabla N° 20 se muestra la población servida y el caudal promedio.

Tabla N° 20 Población Servida y Caudal Promedio

<i>Año</i>	<i>Población Servida (hab)</i>	<i>Caudal Promedio (Q_p)</i>	
		<i>m³/d</i>	<i>L/s</i>
0	2675	470.75	5.45
1	2701	475.46	5.50
5	2811	494.76	5.73
10	2955	520.00	6.02
15	3105	546.52	6.33
20	3264	574.40	6.65

Fuente: Elaboración propia basado en la Norma OS. 090

4.4 Características del Terreno

4.4.1 Pendientes y topografía

La zona para investigar presenta una superficie topográfica suave con pendientes de 1 a 3% en las zonas urbanas, esto es favorable para la evacuación de las aguas pluviales. Para los sectores más accidentados se encuentran pendientes que oscilan entre 2% a 15% aproximadamente.

Formación Millo. - Son estratos horizontales constituidos de conglomerados y areniscas que presentan una coloración rojiza, se localizan en las depresiones productos de la erosión y corresponden a depósitos variados.

Volcánico Sencca. - Se caracteriza por una alternancia de niveles de tufos regularmente consolidados, de color rosado de edad tentativa al Plioceno Medio a Superior, tiene una potencia promedio de 9 m en el lugar.

Conglomerado Aluvial Pleistoceno. - Este cubierto por una capa delgada de material aluvial, fluvial y eólico reciente correspondiente al Pleistoceno inferior, presenta cantos bien redondeados de gneis cuarcitas y lavas. (Fernández, 1998, p. 4).

Depósitos Recientes. - Los depósitos recientes están constituidos por depósitos pluviales provenientes del río Vítor, aluviales provenientes de la cordillera costera y depósitos eólicos que se encuentran en la quebrada y sobre las pampas de la Joya (Fernández, 1998, p. 4).

En la figura N° 38 se muestra las unidades geológicas expuestas en el área de investigación.

Figura N° 38: Unidades geológicas expuestas en el área de investigación

Fuente: Araujo y Miranda, 2016.

a) Tipo de Suelo

“Vítor presenta el suelo predominantemente arenoso, gravoso con poca presencia de limos y arcillas en su composición. Existen suelos de roca compacta y suelta con una incidencia importante. En general el suelo es gravoso, con presencias de bolonerías de diferentes tamaños” (EDOC. PUB, Memoria descriptiva de agua potable, 2020, p.02).

4.5 Características Hidráulicas del sistema de alcantarillado en el colector y emisor

Las características hidráulicas del sistema de alcantarillado para el pueblo de Vítor se muestran en la tabla N° 21 y se calcularon con la Norma O.S 100, como se explica a continuación.

Tabla N° 21 Parámetros de diseño para alcantarillado

<i>POBLACIÓN</i> = 3264 Hab
<i>DENSIDAD POBLACIÓN</i> = 0.71 Hab/m
<i>DOTACIÓN</i> = 220 l/Hab/Día
<i>APORTACIÓN</i> = 176 l/Hab/Día
<i>GASTO MÍNIMO</i> = 3.32 lps
<i>GASTO MEDIO</i> = 6.65 lps
<i>GASTO MAX. INST.</i> = 22.68 lps
<i>GASTO MAX. PREV.</i> = 27.21 lps

Fuente: Elaboración propia basado en la Norma OS. 100

4.5.1 Proyección de la población

Para efectos de la estimación de la proyección de la población a lo largo del horizonte del proyecto, adoptaremos el modelo geométrico y una tasa de crecimiento de 1.00% anual, como resultado del análisis poblacional del año 2017 siendo la población estimada para un periodo de 20 años 3264 hab.

Densidad poblacional

$$\text{Densidad Poblacional} = \frac{\text{Numero de personas}}{\text{Superficie del area}}$$

$$D = \frac{3264 \text{ hab.}}{4604 \text{ m}} = 0.71 \text{ Hab/m}$$

4.5.2 Dotación

La Norma OS.100 (2006) “considera para sistemas con conexiones domiciliarias una dotación de 180 l/hab/d, en clima frío y de 220 l/hab/d en clima templado y cálido” (p. 01). Vitor presenta un clima templado, mayormente cálido en los meses de setiembre y enero.

Por lo tanto, la dotación para nuestra área de estudio será 220 l/Hab/Día.

4.5.3 Aportación

La Norma OS.100 considera para el caudal de contribución de alcantarillado el 80% del caudal de agua potable que ingresa al sistema de alcantarillado.

$$\text{Aportacion} = 80\% \times 220 \text{ l/Hab/Día} = 176 \text{ l/Hab/Día}$$

4.5.4 Gastos de Diseño

La comisión nacional del agua en el “Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento, considera para el gasto de diseño lo siguiente.

Gasto medio

$$Q_{med} = \frac{\text{poblacion} \times \text{aportacion}}{\text{numero de segundos/dia}}$$

$$Q_{med} = \frac{3264 \times 176}{86400} = 6.65 \text{ lps}$$

Gasto mínimo

$$Q_{min} = 0.50 \times \text{Gasto medio}$$

$$Q_{min} = 0.50 \times 6.65 = 3.32 \text{ lps}$$

Gasto máximo instalado

$$Q_{max. inst.} = M \times Q_{med.}$$

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\text{Poblacion}}} = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{3264}} = 3.4111$$

$$Q_{max. inst.} = 3.4111 \times 6.65 = 22.68 \text{ lps}$$

Gasto máximo previsto

$$Q_{max. prev.} = Cs \times Q_{max. inst.}$$

$$Q_{max. prev.} = 1.20 \times 22.68 = 27.21 \text{ lps}$$

4.5.5 Velocidad

Velocidad máxima: La velocidad máxima admisible en tubos de asbesto cemento, acero y PVC será igual a $V_{Max} = 5 \text{ m/s}$.

Velocidad mínima: Se limita la velocidad mínima para evitar la sedimentación de los sólidos más pesados. Es consecuencia con el concepto de auto lavado, es decir que las cañerías se mantengan limpias con el caudal que fluye por ellas. En ningún caso será menor a $V_{min} = 0.60 \text{ m/s}$.

5 DISEÑO HIDRÁULICO DE PTAR CONVENCIONAL

Actualmente existe una PTAR convencional conformada por dos lagunas facultativas, primaria y secundaria, ubicada en el poblado de Vitor – Provincia de Arequipa. Dada la topografía en localidad de Vitor no es necesario el bombeo de las aguas residuales ya que es posible poderlas conducir por gravedad hacia la PTAR.

5.1 Generalidades

El presente diseño de la PTAR ubicado en Vitor se ha dimensionado con los parámetros de la calidad del afluente y efluente indicado en el D.S 003-2010 MINAM. Los parámetros se definieron para un horizonte de diseño de vida útil de 20 años.

Para el diseño de PTAR convencional se tendrá como referencia a la Norma Técnica OS.090 “Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales” del RNE, 2006. Las consideraciones y especificaciones indicados en esta norma son referenciales y muchos de los vacíos u omisiones, han sido complementados con los sustentos técnicos y cálculos en base a literatura especializada, así como la experiencia de los especialistas.

5.2 Estimación de la población

5.2.1 Población

El poblado de Vitor presenta 2622 habitantes al año 2017, presentando así la densidad poblacional igual a 1.52.

De acuerdo con el censo del INEI del año 2017 y estudios de proyección según el expediente técnico SNIP N° 234975, procedimos a estimar la población con el método geométrico.

5.2.2 Periodo de Diseño

“Para determinar el tiempo de vida de la PTAR, intervienen una serie de consideraciones que se evalúan para lograr un proyecto económicamente viable. Por lo tanto, el periodo de diseño puede definirse como el tiempo en el cual el

sistema será 100% eficiente, ya sea por capacidad en la conducción del gasto deseado o por la existencia física de las instalaciones” (Es.scribd.com, Periodo de diseño, 2018, p.02).

“Para determinar el periodo de diseño se consideran factores como: durabilidad o vida útil de las instalaciones, factibilidad de construcción y posibilidades de ampliación o sustitución, tendencias de crecimiento de la población y posibilidades de financiamiento” (Es.scribd.com, Periodo de diseño, 2018, p.03).

Para nuestra área de estudio adoptaremos un horizonte de 20 años de acuerdo con los criterios de proyectos de saneamiento.

5.2.3 Proyección de la Población Futura

El desarrollo del cálculo de la población para el horizonte del proyecto, aplicamos la metodología geométrica y una tasa de crecimiento de 1.00% al año, tomando como referencia el censo del INEI del año 2017. Aplicando la siguiente fórmula para el desarrollo de la población proyectada:

$$P_d = P_a(1 + r)^t \quad (5.1)$$

Dónde:

P_d = Población de diseño (hab.)

P_a = Población actual (hab.)

r = Tasa de crecimiento anual

t = Periodo de diseño (años)

En base del censo del año 2017 se obtiene la tasa de crecimiento anual (r), la cual se presenta en la Tabla N° 22.

Tabla N° 22 Tasa de Crecimiento Anual

<i>Localidad</i>	<i>Tasa de Crecimiento Anual (%)</i>
<i>Vítor</i>	<i>1.00</i>

Fuente: INEI, 2017

Con el valor de la tasa de crecimiento anual (r) se presenta la población estimada, haciendo uso de la fórmula 5.1. En la tabla N° 23 se aprecian los resultados de la población futura para la localidad de Vítor. En el caso del método geométrico, el número de habitantes estimado es de 3264.

Tabla N° 23 Población de Diseño Según el Método Geométrico

<i>Localidad</i>	<i>Años</i>					
<i>Vítor</i>	<i>2019</i>	<i>2020</i>	<i>2024</i>	<i>2029</i>	<i>2034</i>	<i>2039</i>
	2675	2701	2811	2955	3105	3264

Fuente: Elaboración propia

5.2.4 Horizonte del Proyecto

Aplicando lo criterios antes mencionados, el horizonte del proyecto será el año 2039, para un periodo de 20 años.

5.3 Cálculo del caudal de aguas residuales

“La cantidad de aguas residuales depende de la población servida o grado de cobertura del sistema de alcantarillado, de la cantidad de agua consumida, las condiciones climáticas y el tipo de sistema de alcantarillado” (Es.scribd.com, Memoria de cálculo, 2018, p.123).

En la tabla N° 24 se indica los resultados obtenidos del caudal promedio para un periodo de 20 años.

Tabla N° 24 Caudales a ser Tratados en la PTAR Vítor

<i>Año</i>	<i>Población Servida (hab)</i>	<i>Caudal Promedio (Qp)</i>	
		<i>m³/d</i>	<i>L/s</i>
0	2675	470.75	5.45
1	2701	475.46	5.50
5	2811	494.76	5.73
10	2955	520.00	6.02
15	3105	546.52	6.33
20	3264	574.40	6.65

Fuente: Elaboración propia

5.4 Calidad del afluente

“Para el diseño de la PTAR para la localidad de Vítor se tendrá en cuenta la Norma Técnica OS.090 del R.N.E que indica que para comunidades sin sistema de alcantarillado o que cuyas aguas no han sido caracterizadas, debe considerar el cálculo

a partir del siguiente aporte per cápita para aguas residuales domésticas, tomando en cuenta valores que se muestran en la tabla N° 25 para la calidad del afluente” (Es.scribd.com, Memoria de cálculo, 2018, p.126).

Tabla N° 25 Valores para calidad del afluente

<i>“DBO 5 días, 20°C g/hab.día</i>	<i>50</i>
<i>Sólidos en Suspensión</i>	<i>90</i>
<i>Coliformes Fecales N° de Bacterias/hab.día</i>	<i>2xE¹¹”</i>

Fuente: (Norma OS.090, 2006, p. 06)

“De esta manera, con la estimación al (Año 2039), la PTAR deberá tener la capacidad de tratar las aguas residuales provenientes de 3264 pobladores que generan un caudal promedio de 574.40 m³/d. Con esta información, a partir del balance de masa, se obtienen los siguientes valores de parámetros de calidad” (Es.scribd.com, Memoria de cálculo, 2018, p.126).

<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno</i>	<i>284 mg/L</i>
<i>Sólidos en Suspensión</i>	<i>511 mg/L</i>
<i>Coliformes Fecales</i>	

5.5 Calidad del efluente

“La calidad del efluente para PTAR deberá cumplir como mínimo con los Límites Máximos Permisibles indicados en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM que son un referente obligatorio para la obtención de la autorización de vertimiento por parte de la Autoridad Nacional Del Agua (ANA) de acuerdo con el artículo N° 133 del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (D. S. N° 001-2010-AG)” (Es.scribd.com, Memoria de cálculo, 2018, p.128).

En la tabla N° 26 indicamos los valores establecidos en el DS. N° 003-2010-MINAM.

Tabla N° 26 Límites Máximos Permisibles para Efluentes de PTARs

<i>Parámetros</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valor</i>
<i>DBO₅ Total</i>	<i>mg/L</i>	<i>100</i>
<i>SST</i>	<i>mg/L</i>	<i>150</i>
<i>Coliformes Termotolerantes</i>	<i>NMP/100 ml</i>	<i>10000</i>

Fuente: (Decreto Supremo N° 003, 2010, MINAM)

“Del mismo modo, el principal objetivo del proyecto es el uso del efluente tratado de la PTAR para el riego tecnificado y la agricultura, por lo cual es importante mencionar que se deberá considerar lo indicado en el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos que señala (Artículo 150.- Criterios para evaluar la calidad del agua para reúso)” (Es.scribd.com, Memoria de cálculo, 2018, p.129).

5.6 Resumen de las bases de diseño

Mostramos en la tabla N° 27, los principales parámetros que usaremos como datos para el diseño de la PTAR.

Tabla N° 27 Datos para el diseño de la PTAR

<i>Parámetro</i>	<i>Año 2039</i>
<i>Población Total (hab)</i>	3264
<i>Caudal Promedio (m³/día)</i>	574.40
<i>DBO (mg/L)</i>	284
<i>SST (mg/L)</i>	511

Fuente: Elaboración propia

5.7 Pre-tratamiento de aguas residuales

Tabla N° 28 Valores del Pre-Tratamiento

<i>Pre-Tratamiento</i>	<i>Eficiencia</i>		<i>DBO₅</i>		<i>SST</i>	
	<i>DBO₅</i>	<i>SST</i>	<i>Afluente</i>	<i>Efluente</i>	<i>Afluente</i>	<i>Efluente</i>
<i>Tanques Imhoff</i>	30%	50%	284 mg/L	199 mg/L	511 mg/L	255 mg/L
<i>Filtros Percoladores</i>	80%	70%	199 mg/L	39.80 mg/L	255 mg/L	76.5 mg/L

Fuente: Elaboración propia

5.8 Diseño de laguna facultativa primaria

“La PTAR del poblado de Vitor presenta dos lagunas de estabilización, donde una laguna tratara el efluente que viene de la red de alcantarillado. Para cada laguna se aplicó la siguiente formula, verificando de esa forma el área requerida en función de la carga superficial de diseño” (Es.scribd.com, Memoria de cálculo, 2018, p.142).

$$C_s = 250 \times 1.05^{(T-20)}$$

Siendo:

Cs: valor de la carga superficial (Kg DBO/Ha.d)

T: Promedio de la temperatura en el mes más frío (°C)

$$C_s = 250 \times 1.05^{(18-20)} = 226.76 \text{ Kg DBO/Hab. dia}$$

Carga Orgánica de Ingreso

$$C = \text{DBO}_{\text{afluente}} \times Q_p$$

$$C = \frac{39.80 \times 574.40}{1000} = 22.86 \text{ Kg DBO/dia}$$

Área de la Laguna Requerida

$$A_{\text{req}} = \frac{C}{C_s} = \frac{22.86}{226.76} = 0.10 \text{ Ha}$$

El promedio de temperatura para el mes más frío es de 18°C. “Asimismo, el diseño de las lagunas se realizó considerando un borde libre (bl) de 0.5 m, una altura de agua (h) de 2.00 m y un talud de 1:2, obteniendo las siguientes dimensiones” (Es.scribd.com, Memoria de cálculo, 2018, p.142).

Considerando una Relación Largo/Ancho igual a 3

$$\frac{L}{W} = 3 \rightarrow W = \sqrt{\frac{A_{\text{req}}}{3}} = \sqrt{\frac{0.10 \times 10^4}{3}} = 18 \text{ m}$$

$$W = 18 \text{ m}; L = 54.1 \text{ m}$$

Dónde:

W: medida del ancho a Nivel Medio (m)

L: Largo a Nivel Medio (m)

En la figura N° 39 indicamos las longitudes de la laguna.

Figura N° 39: Esquema de las longitudes de la laguna

Fuente: Elaboración propia

Dimensiones Largo de la Laguna

$$ls = L + 2 \left(\frac{h}{2} + bl \right) z = 54.10 + 2x \left(\frac{2}{2} + 0.5 \right) x 2 = 60.10 \text{ m}$$

$$la = L + hz = 54.10 + 2x2 = 58.10 \text{ m}; lf = L - hz = 54.10 - 2x2 = 50.10 \text{ m}$$

Dimensiones Ancho de la Laguna

$$as = W + 2 \left(\frac{h}{2} + bl \right) z = 18 + 2x \left(\frac{2}{2} + 0.5 \right) x 2 = 24.00 \text{ m}$$

$$aa = W + hz = 18 + 2x2 = 22 \text{ m}; af = W - hz = 18 - 2x2 = 14 \text{ m}$$

Descripción	Largo (m)	Ancho (m)
<i>Al nivel de la Coronación</i>	<i>60.10</i>	<i>24.00</i>
<i>Al nivel de Espejo de Agua</i>	<i>58.10</i>	<i>22.00</i>
<i>Al Nivel Medio</i>	<i>54.10</i>	<i>18.00</i>
<i>A Nivel de Fondo</i>	<i>50.10</i>	<i>14.00</i>

El desarrollo del volumen de lodos que se acumula en cada laguna está en relación a la concentración de sólidos “con una reducción de 50% de sólidos volátiles por digestión anaerobia, una densidad del lodo de 1.03 Kg/L y un contenido de sólidos de 10% al peso” (Norma OS.090, 2006, p. 10).

Para el calculo del volumen de lodos aplicamos la siguiente formula:

$$C = SST \times Q = \frac{76.5 \times 574.40}{1000} = 43.90 \frac{Kg SST}{d}$$

Dónde:

C: Valor de carga de solidos que ingresa en cada laguna (Kg SST/d)

Q: Valor ingresante del caudal (m3/d)

SST: Valor de SST para el afluente (Kg/m3)

$$M_{sd} = (0.5 \times 0.7 \times 0.5 \times C) + (0.3 \times 0.5 \times C)$$

$$M_{sd} = 14.28 Kg SS/d$$

Dónde:

M_{sd} : Valor para la Masa de sólidos que se digieren (Kg SS/día)

C: Valor que ingresó a la laguna para cada carga de solidos (Kg ST/día)

Aplicamos la siguiente ecuación para el cálculo del volumen diario presente en los lodos digeridos, obteniendo los siguientes valores.

$$V_{ld} = \frac{M_{sd}}{\rho_{lodo} \times (\%solidos/100)} = \frac{14.28}{1.03(10/100)} = 138.65 L_{lodo}/d = 0.14 m^3_{lodo}/d$$

Dónde:

V_{ld} : Valor del volumen diario para lodos digeridos (L/día; m3/día)

ρ_{lodo} : Valor de la densidad para lodos (1,03 Kg/l).

Valor porcentual de solidos (10%)

El Área de Lodos en Fondo de la Laguna

$$A_{lodos} = 14 \times 50.10 = 703 m^2$$

Altura de Lodos (hl)

$$hl = \frac{Volumen Total de Lodos}{A_{lodos}} = \frac{0.14 \times 5 \times 365}{703} = 0.36 m$$

Periodo de Retención

$$P_{ret\ real} = P_{ret\ teórico} \times f_{ch}$$

Dónde:

Pret: Estimación del tiempo retenido por laguna(días).

fch: Valor del factor a corregir hidráulicamente en función del largo y ancho l/w (0.3-0.8).

$$P_{ret\ real} = \left(\frac{1954.30}{574.40} \right) \times 0.6 = 3.40 \text{ días}$$

“La reducción de bacterias en las lagunas de estabilización está determinada en términos de coliformes Termotolerantes, como indicador microbiológico según lo establecido en la Norma OS-090. En el desarrollo del cálculo se aplicó la ecuación de flujo disperso con los coeficientes de mortalidad netos para los diferentes tipos de unidades” (Es.scribd.com, Memoria de cálculo, 2018, p.143).

$$\frac{N_e}{N_o} = \frac{4ae^{[(1-d)/2d]}}{(1+a)^2}; \quad a = \sqrt{1 + 4K_b R d}$$

Dónde:

d: La cantidad de dispersión

R: Tiempo de retención hidráulica por día

No: Cantidad de coliformes para el afluente

Ne: Cantidad de coliformes para el efluente

Kb: Valor de mortalidad para coliformes bacterianos

La interacción del largo, ancho y altura se determinó con la ecuación del factor de dispersión teniendo en consideración la temperatura promedio del agua.

$$d = \frac{1.158[R(W + 2Z)]^{0.489} W^{1.511}}{(T + 42.5)^{0.734} (LZ)^{1.489}}$$

Dónde:

W: valor del ancho medio para la laguna (ml)

L: valor del largo medio de laguna (ml)

Z: valor de la profundidad hasta el espejo de agua

T: valor de la temperatura del mes mas frio en promedio

Para la corrección del valor de mortalidad aplicamos la siguiente ecuación:

$$K_T = K_{20} \times 1.05^{(T-20)}$$

Dónde:

KT: Valor de la mortalidad neta para la temperatura promedio del mes más frío (°C)

K20: Valor de la mortalidad para una temperatura de 20°C

“La estimación de los coliformes Termotolerantes se obtuvo de la aplicación de la ecuación indicada, para el efluente de la laguna secundaria será de 9.72E+5 NMP/100 mL, valor que se encuentra por encima del LMP para efluentes de PTAR y de la calidad requerida para reúso en riego” (Es.scribd.com, Memoria de cálculo, 2018, p.144).

Remoción de la DBO en la Laguna Primaria

$$K_b = K_{20} \times 1.05^{(T-20)} = 0.12 \times 1.05^{(18-20)} = 0.11$$

$$a = \sqrt{1 + 4 \times 0.11 \times 2.04 \times 0.39} = 1.16$$

$$Remoción_{DBO5} = \frac{39.8 \times 4 \times 1.16 \times e^{\left(\frac{1-1.16}{2 \times 0.12}\right)}}{(1 + 1.16)^2} = 20.32 \text{ Kg DBO/d}$$

5.9 Resumen de cálculo de la laguna primaria y secundaria - PTAR Convencional

En los numerales anteriores se explicó el proceso de cálculo de acuerdo con la normativa vigente para las PTAR Convencionales, presentando el resumen de cálculo obtenido para las lagunas primaria y secundaria de una PTAR Convencional. En las tablas N° 29 y tabla N° 30.

Tabla N° 29 Dimensionamiento Laguna Facultativa Primaria – PTAR Convencional

Dimensionamiento convencional de la laguna facultativa primaria			
DESCRIPCIÓN	SIMBOLO	VALOR	UNIDAD
Población Servida	Pa	2,675	hab
Tasa de Crecimiento Anual	r	0.01	
Periodo de Diseño	T	20	años
Población de Diseño	Pd	3264	hab
Caudal Maximo Horario	Qmh	11.97	l/s
Caudal Promedio	Qp	6.65	l/s
DBO Afluente	DBOa	39.8	mg/L
Coliformes Totales	N	1.20E+06	NMP/100ml
Temperatura del Mes mas Frio	T	18	°C
Carga Organica de Ingreso	Corg	22.86	kg DBO/d
Carga Superficial de Diseño	Cs	226.76	kg DBO/Ha.d
Area Requerida	At	0.10	Ha
Numero de Lagunas	N	1	
Area por Laguna	Au	0.10	Ha
Relación Largo/Ancho	l/a	3	
Ancho a Nivel Medio	W	18.0	m
Largo a Nivel Medio	L	54.1	m
Talud	Z	2	
Altura de Agua	h	2	m
Borde Libre	BL	0.50	m
DIMENSIONES DE LA LAGUNA			
Largo a Nivel de la Corona	ls	60.1	m
Largo a Nivel Espejo de Agua	la	58.1	m
Largo en el Fondo	lf	50.1	m
Ancho a Nivel de la Corona	as	24.0	m
Ancho a Nivel Espejo de Agua	aa	22.0	m
Ancho en el Fondo	af	14.0	m
Volumen de Masa de Agua	Va	1954.30	m3
PRODUCCIÓN DE LODOS			
Solidos Suspensión Total Ingreso	SST	76.5	mg/L
Carga de Solidos	S	43.9	Kg SST/d
% de Reducción de Solidos Volatiles (SEGÚN NORMA OS 090)	%SV	50	%
Materia Seca (Lodos)	Ms	14.28	kg/d
% Solidos (SEGÚN NORMA OS 090)	%S	10	%
Densidad de Lodos	Dl	1.03	Kg/L
Volumen de Lodos	Vl	138.65	L lodo/d
Volumen de Lodos	Vl	0.14	m3 lodo/d
Periodo de Limpieza de la Laguna	pl	5	años
Volumen Total de Lodos	Vtl	253.04	m3
Volumen Total de Lodos por Laguna	Vtlu	253.04	m3
Area del Fondo de la Laguna	Af	703	m2
Altura de Lodos	Hl	0.36	m
Volumen Total de la Laguna	Vtlg	2207	m3
Periodo de Retención	Pr	3.40	días
Factor de Corrección Hidraulica	Fch	0.60	
Periodo de Retención Real	Prr	2.04	días

Nota: Descripción, símbolo, unidad. Adaptado de “02.Memoria-calculo.pdf” por N.Follano, 2018, p. 158-159, es.scribd.com.

Tabla N° 30 Dimensionamiento Laguna Facultativa Secundaria – PTAR Convencional

Dimensionamiento convencional de la laguna facultativa secundaria			
DESCRIPCIÓN	SIMBOLO	VALOR	UNIDAD
Población Servida	Pa	2,675	hab
Tasa de Crecimiento Anual	r	0.01	
Periodo de Diseño	T	20	años
Población de Diseño	Pd	3264	hab
Caudal Maximo Horario	Qmh	11.97	l/s
Caudal Promedio	Qp	6.65	l/s
DBO Afluente	DBOa	19.48	mg/L
Coliformes Totales	N	1.20E+06	NMP/100ml
Temperatura del Mes mas Frio	T	18	°C
Carga Organica de Ingreso	Corg	11.19	kg DBO/d
Carga Superficial de Diseño	Cs	226.76	kg DBO/Ha.d
Area Requerida	At	0.05	Ha
Numero de Lagunas	N	1	
Area por Laguna	Au	0.05	Ha
Relación Largo/Ancho	l/a	3	
Ancho a Nivel Medio	W	12.8	m
Largo a Nivel Medio	L	38.5	m
Talud	Z	2	
Altura de Agua	h	2	m
Borde Libre	BL	0.50	m
DIMENSIONES DE LA LAGUNA			
Largo a Nivel de la Corona	ls	44.5	m
Largo a Nivel Espejo de Agua	la	42.5	m
Largo en el Fondo	lf	34.5	m
Ancho a Nivel de la Corona	as	18.8	m
Ancho a Nivel Espejo de Agua	aa	16.8	m
Ancho en el Fondo	af	8.8	m
Volumen de Masa de Agua	Va	990.13	m3
PRODUCCIÓN DE LODOS			
Solidos Suspensión Total Ingreso	SST	38.25	mg/L
Carga de Solidos	S	22.0	Kg SST/d
% de Reducción de Solidos Volatiles	%SV	50	%
Materia Seca (Lodos)	Ms	7.14	kg/d
% Solidos	%S	10	%
Densidad de Lodos	Dl	1.03	Kg/L
Volumen de Lodos	Vl	69.33	L lodo/d
Volumen de Lodos	Vl	0.07	m3 lodo/d
Periodo de Limpieza de la Laguna	pl	5	años
Volumen Total de Lodos	Vtl	126.52	m3
Volumen Total de Lodos por Laguna	Vtlu	126.52	m3
Area del Fondo de la Laguna	Af	304	m2
Altura de Lodos	Hl	0.42	m
Volumen Total de la Laguna	Vtlg	1117	m3
Periodo de Retención	Pr	1.72	días
Factor de Corrección Hidraulica	Fch	0.60	
Periodo de Retención Real	Prr	1.03	días

Nota: Descripción, símbolo, unidad. Adaptado de “02.Memoria-calculo.pdf” por N.Follano, 2018, p. 160-161, es.scribd.com.

5.10 Análisis y Discusión de Resultados

- Se ha justificado los criterios de elección de la laguna facultativa demostrando que es la adecuada.
- El periodo de diseño debe ser de 20 años con el fin de garantizar que la PTAR convencional sea útil y no rebasen su capacidad ante el crecimiento poblacional.
- La PTAR convencional tiene el aforo para ser tratado procedentes de 3264 pobladores con un caudal de 574 metros cúbicos por día en promedio. El aporte per cápita por persona es de 50 gr DBO/persona. día.
- La carga orgánica de ingreso resulto 22.86 kilogramos de DBO por día, el área requerida para la PTAR Convencional es de 0.10 Has.
- La PTAR existente en la localidad de Vítor se encuentra sobredimensionada, según los cálculos realizados y teniendo en consideración los criterios de diseño básicos que estipula la Norma OS-090 para las PTAR.

6 DISEÑO HIDRÁULICO DE PTAR OPTIMIZADA

La remoción de contaminantes en el trayecto de los sistemas de alcantarillado y conducción no son considerados en el diseño de la PTAR Convencional, por ende, la carga orgánica de diseño es mayor. Con el objetivo de disminuir los costes para la construcción y operacionalidad de la PTAR, se aprovechará la topografía del lugar. En el diseño se ha utilizado los criterios y consideraciones establecidas en las normas técnicas O.S 090 y O.S 100 del R.N.E.

6.1 Cálculo hidráulico

6.1.1 Desarrollo de cálculos hidráulicos

Datos base de diseño:

- Población Diseño: 3264 hab.
- Coef. Rugosidad Manning: 0.010
- Diámetro Tubería: 8 pulg, 20 cm, 0.20 mts.

Para efectos del desarrollo de los cálculos se tomará uno de los tramos con mayor pendiente para realizar los cálculos hidráulicos los cuales se observan en la figura N° 40, además en el Plano DET-01 se puede visualizar toda la red colectora en estudio:

Del grafico N° 40 podemos identificar los tramos que presentan mayor pendiente que se detallan en la tabla N° 31, datos que nos servirán para realizar el cálculo de los gastos de diseño.

Tabla N° 31 Longitud y pendientes de diseño

<i>TRAMO</i>	<i>LONGITUD(m)</i>	<i>PENDIENTE(m/km)</i>	
	<i>Tramo</i>	<i>So %</i>	<i>m/m</i>
59-58	34	7%	0.069
58-57	45	9%	0.091
57-56	45	9%	0.085
56-55	51	4%	0.042
55-54	51	4%	0.044
54-53	54	15%	0.148
53-52	13	19%	0.193

Fuente: Expediente técnico SNIP N° 234975

Figura N° 40: Tramo con pendiente pronunciada a evaluar

Fuente: Elaboración propia

Gastos de Diseño

En la tabla N° 32 se muestran los gastos de diseño para los tramos de la red colectora con mayor pendiente. Para el proceso de cálculo consideramos las siguientes formulas:

Gasto medio (Qmed)

$$Q_{med} = \frac{\text{poblacion} \times \text{aportacion}}{\text{numero de segundos/dia}}$$

Para el tramo 59 - 58

$$Q_{med} = \frac{24 \times 176}{86400} = 0.05 \text{ lps}$$

Gasto mínimo (Q_{min})

$$Q_{min} = 0.50 \times \text{Gasto medio}$$

Para el tramo 59 - 58

$$Q_{min} = 0.50 \times 0.05 = 0.025 \text{ lps}$$

Nota: Para el Q_{min} se consideró 1.50 L/s de acuerdo con lo establecido en la Norma O.S 070 Redes de aguas residuales.

Gasto máximo instalado ($Q_{max Inst}$)

$$Q_{max. inst.} = M \times Q_{med.}$$

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{Poblacion}} = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{24}} = 4.37$$

Para el tramo 59 - 58

$$Q_{max. inst.} = 4.37 \times 0.05 = 0.22 \text{ lps}$$

De la misma manera se procede a realizar los cálculos para los gastos de diseño para los demás tramos como se muestra el resumen de los datos obtenidos en la tabla N° 32.

Tabla N° 32 Gastos de Diseño

<i>TRAMO</i>	<i>GASTOS (lps)</i>		
	<i>Q_{min}</i>	<i>Q_{med}</i>	<i>$Q_{max Inst}$</i>
59-58	1.5	0.05	0.22
58-57	1.5	0.11	0.49
57-56	1.5	0.18	0.76
56-55	1.5	0.25	1.07
55-54	1.5	0.33	1.37
54-53	1.5	0.41	1.68
53-52	1.5	0.42	1.76

Fuente: Elaboración Propia

Desarrollo de la Formula Iterativa con la Ecuaciones de Darcy – Weisbach y Colebrook

Formula de Darcy – Weisbach

Sabemos que la ecuación está dada por la siguiente expresión:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{f}} \sqrt{8g} AR_h^{1/2} S_0^{1/2}$$

Despejando el factor de fricción obtenemos la ecuación (1):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{Q}{\sqrt{8gS_0}} \frac{P^{1/2}}{A^{3/2}} \quad (1)$$

Formula de Colebrook

Sabemos que la ecuación está dada por la siguiente expresión:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{k_s}{3.71(4R_h)} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

De la expresión anterior tenemos Re (número de Reynolds) donde:

$$Re = \frac{V(4R_h)}{v} = \frac{Q}{A} \frac{4A}{vP} = \frac{4Q}{vP}$$

Reemplazando Re en Colebrook obtenemos la ecuación (2):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{k_s}{3.71(4R_h)} + \frac{2.51 vP}{4Q} \frac{1}{\sqrt{f}} \right) \quad (2)$$

Reemplazando la ecuación (1) en (2)

$$\frac{Q}{\sqrt{8gS_0}} \frac{P^{1/2}}{A^{3/2}} = -2 \log \left[\frac{k_s}{3.71(4R_h)} + \frac{2.51 vP}{4Q} \left(\frac{Q}{\sqrt{8gS_0}} \frac{P^{1/2}}{A^{3/2}} \right) \right]$$

Resolviendo:

$$\frac{Q}{\sqrt{8gS_0}} \frac{P^{1/2}}{A^{3/2}} = -2 \log \left[\frac{k_s P}{3.71(4)A} + \frac{2.51 v}{4\sqrt{8gS_0}} \left(\frac{P}{A} \right)^{3/2} \right]$$

Despejando (A) obtenemos la ecuación (3):

$$A = \left(\frac{Q}{\sqrt{8gS_0}} \right)^{2/3} P^{1/3} \left\{ -2 \log \left[\frac{k_s P}{14.84 A} + \frac{2.51 v}{4\sqrt{8gS_0}} \left(\frac{P}{A} \right)^{3/2} \right] \right\}^{-2/3} \quad (3)$$

La ecuación (3) es la forma general de la Ecuación de Darcy que nos permite calcular los parámetros de flujo en cualquier sección prismática y a su vez nos permite determinar formulas Iterativas.

Utilizaremos la ecuación (3) para poder calcular la formula Iterativa para canales circulares, aplicando relaciones geométricas de la sección circular que las podemos encontrar en las bibliografías de Hidráulica de canales.

Para una sección Circular conocemos las siguientes fórmulas de Manning:

Área:

$$A = \frac{D^2}{4} \left(\theta - \frac{1}{2} \sin(2\theta) \right)$$

Perímetro:

$$P = D\theta$$

Reemplazando el área en el lado izquierdo de la ecuación (3) obtenemos:

$$\frac{D^2}{4} \left(\theta - \frac{1}{2} \sin(2\theta) \right) = \left(\frac{Q}{\sqrt{8gS_0}} \right)^{2/3} P^{1/3} \left\{ -2 \log \left[\frac{k_s}{14.84} \frac{P}{A} + \frac{2.51 v}{4\sqrt{8gS_0}} \left(\frac{P}{A} \right)^{3/2} \right] \right\}^{-2/3} \quad (4)$$

Reordenando y despejando θ se obtiene:

$$\theta = \frac{4}{D^2} \left(\frac{Q}{\sqrt{8gS_0}} \right)^{2/3} P^{1/3} \left\{ -2 \log \left[\frac{k_s}{14.84} \frac{P}{A} + \frac{2.51 v}{4\sqrt{8gS_0}} \left(\frac{P}{A} \right)^{3/2} \right] \right\}^{-2/3} + \frac{1}{2} \sin(2\theta) \quad (5)$$

Insertando el área y perímetro en el lado derecho de la ecuación (5) obtenemos:

$$\theta = \frac{4}{D^2} \left(\frac{Q}{\sqrt{8gS_0}} \right)^{2/3} (D\theta)^{1/3} \left\{ -2 \log \left[\frac{k_s}{14.84} \frac{(D\theta)}{\left[\frac{D^2}{4} \left(\theta - \frac{1}{2} \sin(2\theta) \right) \right]} + \frac{2.51 v}{4\sqrt{8gS_0}} \left(\frac{D\theta}{\left[\frac{D^2}{4} \left(\theta - \frac{1}{2} \sin(2\theta) \right) \right]} \right)^{3/2} \right] \right\}^{-2/3} + \frac{1}{2} \sin(2\theta)$$

Reduciendo la expresión tenemos:

$$\theta_0 = \frac{2}{D^{5/3}} \left(\frac{Q}{\sqrt{8gS_0}} \right)^{2/3} (\theta_0)^{1/3} \left\{ -2 \log \left[\frac{k_s}{14.84D} \frac{\theta_0}{\left(\theta_0 - \frac{1}{2} \sin 2\theta_0 \right)} + \frac{2.51 v}{4\sqrt{8gS_0}} \left(\frac{4}{D} \right)^{3/2} \left(\frac{\theta_0}{\left(\theta_0 - \frac{1}{2} \sin(2\theta_0) \right)} \right)^{3/2} \right] \right\}^{-2/3} + \frac{1}{4} \sin(2\theta_0) + \frac{1}{2} \theta_0$$

Resolviendo y aplicando artificios matemáticos obtenemos la formula Iterativa para canales una sección circular de la fórmula de MANING.

Formula Iterativa para el Cálculo de ángulo Interno (θ°)

$$\theta_0 = \frac{2}{D^2} \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/5} (D\theta_0)^{2/5} + \frac{1}{4} \sin(2\theta_0) + \frac{1}{2} \theta_0$$

Donde:

$D = 0.20$ mts, diámetro de la tubería

$Q = Q_{\min}, Q_{\text{med}}, Q_{\max}$. (m^3/s); datos calculados en la tabla N° 32 Gastos de diseño.

$n = 0.010$, rugosidad de Manning

S_0 = Pendiente para cada tramo, datos obtenidos de la tabla N°31 Longitud y pendientes de diseño.

$\theta_0 = \theta_{0\min}, \theta_{0\text{med}}, \theta_{0\max}$; valores que serán calculados con los datos de la tabla N° 31 y tabla N° 32 para cada valor respectivamente.

Para el tramo 59 - 58

$$\theta_{\min} = \frac{2}{0.20^2} \left(\frac{0.010 \times 0.0015}{\sqrt{0.069}} \right)^{3/5} (0.20 \times \theta_0)^{2/5} + \frac{1}{4} \sin(2\theta_0) + \frac{1}{2} \theta_0$$

$$\theta_{\min} = 1.15 \text{ rad}$$

$$\theta_{\text{med}} = \frac{2}{0.20^2} \left(\frac{0.010 \times 0.00005}{\sqrt{0.069}} \right)^{3/5} (0.20 \times \theta_0)^{2/5} + \frac{1}{4} \sin(2\theta_0) + \frac{1}{2} \theta_0$$

$$\theta_{\min} = 0.52 \text{ rad}$$

$$\theta_{\max} = \frac{2}{0.20^2} \left(\frac{0.010 \times 0.00022}{\sqrt{0.069}} \right)^{3/5} (0.20 \times \theta_0)^{2/5} + \frac{1}{4} \sin(2\theta_0) + \frac{1}{2} \theta_0$$

$$\theta_{\min} = 0.73 \text{ rad}$$

De la misma manera se procede a realizar los cálculos para los ángulos internos para los demás tramos como se muestra el resumen de los datos obtenidos en la tabla N° 33.

Tabla N° 33 Ángulos internos

<i>TRAMO</i>	<i>ANGULO (rad.)</i>		
	<i>θ min</i>	<i>θ med</i>	<i>θ máx.</i>
59-58	1.15	0.52	0.73
58-57	1.12	0.60	0.85
57-56	1.12	0.67	0.95
56-55	1.23	0.80	1.14
55-54	1.23	0.86	1.21
54-53	1.05	0.77	1.08
53-52	1.02	0.75	1.06

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo del Tirante (Y):

$$Y = \frac{D}{2} (1 - \cos \theta)$$

Con los valores calculados para los ángulos internos que se muestran en la tabla N° 33 procedemos a calcular el Y min, Y med, Y máx.; aplicando la fórmula que está en función del diámetro y el ángulo, los valores obtenidos se visualizan en la tabla N° 34.

Tabla N° 34 Tirante hidráulico por tramos

<i>TRAMO</i>	<i>TIRANTE (m)</i>		
	<i>Y min</i>	<i>Y med</i>	<i>Y máx.</i>
59-58	0.06	0.01	0.03
58-57	0.06	0.02	0.03
57-56	0.06	0.02	0.04
56-55	0.07	0.03	0.06
55-54	0.07	0.03	0.06
54-53	0.05	0.03	0.05
53-52	0.05	0.03	0.05

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de la velocidad (V):

$$V = \frac{Q}{D^2/4[\theta - 1/2 \text{ seno}(2\theta)]}$$

Tabla N° 35 Velocidades por tramos

<i>TRAMO</i>	<i>VELOCIDAD (m/s)</i>		
	<i>V min</i>	<i>V med</i>	<i>V máx.</i>
59-58	1.26	0.44	0.69
58-57	1.37	0.64	0.98
57-56	1.37	0.71	1.12
56-55	1.03	0.61	0.93
55-54	1.03	0.65	1.01
54-53	1.64	1.09	1.70
53-52	1.78	1.22	1.86

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo del área (A) para cada tramo:

$$Q = VA$$

Tabla N° 36 Área para cada pendiente

<i>TRAMO</i>	<i>AREA (m2)</i>		
	<i>A min</i>	<i>A med</i>	<i>A máx.</i>
59-58	0.001	0.0001	0.0003
58-57	0.001	0.0002	0.0005
57-56	0.001	0.0003	0.0007
56-55	0.001	0.0004	0.0011
55-54	0.001	0.0005	0.0014
54-53	0.001	0.0004	0.0010
53-52	0.001	0.0003	0.0009

Fuente: Elaboración Propia

6.1.2 Resumen de cálculos hidráulicos

Colector 1

TRAMO	LONGITUD(m)	POBLACION ACUMULADA	So (m/m)	GASTOS (m3/s)			ANGULO (rad.)			TIRANTE(m)			RELACION TIRANTES			AREA (m2)			VELOCIDAD (m/s)			VOLUMEN (m3)		
	Tramo			Qmin	Qmed	QMax Prev	Θmin	Θmed	Θmax	ymin	ymed	ymax	ymin/D	ymed/D	ymax/D	A.min	A.med	A.max	V. min	V.med	V.max	Vol. Min	Vol. med	Vol. max
59-58	34	24	0.06851	0.0015	0.00005	0.0002	1.15	0.52	0.73	0.06	0.01	0.03	0.30	0.06	0.13	0.0012	0.0001	0.0003	1.26	0.44	0.69	0.041	0.004	0.011
58-57	45	56	0.091	0.0015	0.00011	0.0005	1.12	0.60	0.85	0.06	0.02	0.03	0.28	0.09	0.17	0.0011	0.0002	0.0005	1.37	0.64	0.98	0.049	0.008	0.022
57-56	45	88	0.08533	0.0015	0.00018	0.0008	1.12	0.67	0.95	0.06	0.02	0.04	0.28	0.11	0.21	0.0011	0.0003	0.0007	1.37	0.71	1.12	0.049	0.011	0.030
56-55	51	124	0.04157	0.0015	0.00025	0.0011	1.23	0.80	1.14	0.07	0.03	0.06	0.33	0.15	0.29	0.0015	0.0004	0.0011	1.03	0.61	0.93	0.075	0.021	0.059
55-54	51	161	0.04409	0.0015	0.00033	0.0014	1.23	0.86	1.21	0.07	0.03	0.06	0.33	0.17	0.32	0.0015	0.0005	0.0014	1.03	0.65	1.01	0.075	0.026	0.070
54-53	54	199	0.14833	0.0015	0.00041	0.0017	1.05	0.77	1.08	0.05	0.03	0.05	0.25	0.14	0.26	0.0009	0.0004	0.0010	1.64	1.09	1.70	0.049	0.020	0.053
53-52	13	208	0.19271	0.0015	0.00042	0.0018	1.02	0.75	1.06	0.05	0.03	0.05	0.24	0.14	0.26	0.0008	0.0003	0.0009	1.78	1.22	1.86	0.011	0.005	0.012

Colector 3

TRAMO	LONGITUD(m)	POBLACION	So (m/m)	GASTOS (m3/s)			ANGULO (rad.)			TIRANTE (m)			RELACION TIRANTES			AREA (m2)			VELOCIDAD (m/s)			VOLUMEN (m3)		
	Tramo	ACUMULADA		Qmin	Qmed	QMaxInst	Θmin	Θmed	Θmax	ymin	ymed	ymax	ymin/D	ymed/D	ymax/D	Amin	Amed	Amax	Vmin	Vmed	Vmax	Volmin	Volmed	Volmax
3-2	60	43	0.06	0.0015	0.00009	0.0004	1.17	0.60	0.50	0.061	0.018	0.012	0.307	0.088	0.061	0.0013	0.00018	0.0001	1.19	0.49	3.72	0.08	0.01	0.006
6-5	50	36	0.09	0.0015	0.00007	0.0003	1.12	0.54	0.44	0.056	0.014	0.010	0.281	0.071	0.049	0.0011	0.00013	0.0001	1.37	0.56	4.35	0.05	0.00	0.004
8-7	38	27	0.22	0.0015	0.00006	0.0002	1.00	0.47	0.36	0.046	0.011	0.007	0.231	0.054	0.033	0.0008	0.00009	0.0000	1.87	0.64	6.01	0.03	0.00	0.002
7-9	43	255	0.05	0.0015	0.00052	0.0021	1.20	0.93	1.30	0.064	0.040	0.074	0.319	0.201	0.368	0.0013	0.00064	0.0017	1.12	0.81	1.26	0.06	0.16	0.072
9-10	61	298	0.06	0.0015	0.00061	0.0025	1.17	0.95	1.33	0.061	0.041	0.076	0.307	0.207	0.381	0.0013	0.00067	0.0018	1.19	0.90	1.38	0.08	0.20	0.110
31-30	19	13	0.07	0.0015	0.00003	0.0001	1.15	0.46	0.61	0.059	0.010	0.018	0.297	0.051	0.089	0.0012	0.00008	0.0002	1.26	0.34	0.65	0.02	0.00	0.003
30-29	66	60	0.12	0.0015	0.00012	0.0005	1.08	0.59	0.83	0.053	0.017	0.033	0.264	0.085	0.163	0.0010	0.00017	0.0005	1.52	0.71	1.14	0.06	0.01	0.030
80-39	64	380	0.14	0.0015	0.00077	0.0031	1.06	0.90	1.26	0.051	0.038	0.070	0.255	0.190	0.349	0.0009	0.00059	0.0016	1.60	1.31	2.01	0.06	0.22	0.099
81-80	50	201	0.09	0.0015	0.00041	0.0017	1.12	0.82	1.15	0.056	0.032	0.059	0.281	0.159	0.297	0.0011	0.00044	0.0012	1.37	0.92	1.42	0.05	0.09	0.060
82-81	50	165	0.09	0.0015	0.00034	0.0014	1.12	0.78	1.10	0.056	0.029	0.055	0.281	0.146	0.273	0.0011	0.00039	0.0010	1.37	0.86	1.35	0.05	0.06	0.052
83-82	50	130	0.07	0.0015	0.00026	0.0011	1.15	0.76	1.07	0.059	0.027	0.052	0.297	0.137	0.259	0.0012	0.00035	0.0010	1.26	0.75	1.16	0.06	0.05	0.048
84-83	45	32	0.11	0.0015	0.00006	0.0003	1.09	0.51	0.74	0.054	0.013	0.026	0.269	0.064	0.132	0.0010	0.00011	0.0003	1.47	0.59	0.84	0.05	0.00	0.015
87-80	50	134	0.07	0.0015	0.00027	0.0011	1.15	0.76	1.07	0.059	0.028	0.052	0.297	0.139	0.259	0.0012	0.00036	0.0010	1.26	0.75	1.19	0.06	0.05	0.048
88-87	50	98	0.06	0.0015	0.00020	0.0008	1.17	0.73	1.01	0.061	0.025	0.047	0.307	0.126	0.233	0.0013	0.00031	0.0008	1.19	0.65	1.05	0.06	0.03	0.041

6.1.3 Verificación de cálculos hidráulicos con HCANALES

Para:

Figura N° 41: $S = 9\%$, Q_{min}

Lugar:	AREQUIPA	Proyecto:	PIA 3
Tramo:	ALCANTARILLADO	Revestimiento:	PVC

Datos:

Caudal (Q):	0.00018	m ³ /s
Diámetro (d):	0.20	m
Rugosidad (n):	0.010	
Pendiente (S):	0.09	m/m

Resultados:

Tirante normal (y):	0.0056	m	Perímetro mojado (p):	0.0675	m
Área hidráulica (A):	0.0003	m ²	Radio hidráulico (R):	0.0037	m
Espejo de agua (T):	0.0662	m	Velocidad (v):	0.7190	m/s
Número de Froude (F):	3.7332		Energía específica (E):	0.0320	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Supercrítico				

Fuente: Programa HCANALES

Figura N° 42: $S = 7\%$, Q_{med}

Lugar:	VITOR - AREQUIPA	Proyecto:	PIA 3
Tramo:	ALCANTARILLADO	Revestimiento:	PVC

Datos:

Caudal (Q):	0.00005	m ³ /s
Diámetro (d):	0.20	m
Rugosidad (n):	0.010	
Pendiente (S):	0.07	m/m

Resultados:

Tirante normal (y):	0.0033	m	Perímetro mojado (p):	0.0515	m
Área hidráulica (A):	0.0001	m ²	Radio hidráulico (R):	0.0022	m
Espejo de agua (T):	0.0509	m	Velocidad (v):	0.4452	m/s
Número de Froude (F):	3.0271		Energía específica (E):	0.0134	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Supercrítico				

Fuente: Programa HCANALES

6.2 Cálculo de aireación en rápidas

6.2.1 Cálculo del ángulo de inclinación

Para el cálculo del ángulo de inclinación en cada pendiente se muestran los resultados obtenidos en la tabla N° 37.

Tabla N° 37 Ángulo de inclinación para cada pendiente

<i>TRAMO</i>	<i>So (m/m)</i>	<i>ÁNGULO</i>
		<i>INCLINACIÓN</i> θ°
59-58	0.07	4.01
58-57	0.09	5.16
57-56	0.09	5.16
56-55	0.04	2.29
55-54	0.04	2.29
54-53	0.15	8.62
53-52	0.19	10.95

Fuente: Elaboración propia basado en Naudascher, 2002

6.2.2 Cálculo de la concentración de aire

Según el experimento de (Straub et al., 1960), véase la figura N° 22, la concentración de Aire calculada a partir del grafico se muestra en la tabla N° 38:

Tabla N° 38 Concentración de aire Según el experimento de Straub

θ°	$C = \frac{C}{C_n}$	$\delta \cos \theta$	k
75°	0.715	1.60	1.82
60°	0.675	1.90	1.36
45°	0.618	2.30	0.90
37.50°	0.560	2.65	0.64
30°	0.410	3.80	0.20
22.50°	0.302	4.92	0.07
15°	0.245	5.90	0.02
7.5°	0.137	9.05	0.00

Fuente: Straub et al., 1960

Interpolación de datos por tramos para las pendientes y su ángulo correspondiente

$$Y_x = Y_o + \frac{X - X_o}{X_1 - X_o} (Y_1 - Y_o) \quad (6.1)$$

Tabla N° 39 Concentración de aire

<i>So (%)</i>	<i>θ°</i>	<i>C = Cn</i>
4%	2.29°	0.06
5%	2.87°	0.07
6%	3.44°	0.08
7%	4.01°	0.09
8%	4.59°	0.10
9%	5.16°	0.10
11%	6.32°	0.12
12%	6.89°	0.13
13%	7.50°	0.14
14%	8.05°	0.15
15%	8.62°	0.15
19%	10.95°	0.19
22%	12.71°	0.21
26%	15°	0.25

Fuente: Elaboración propia basado en Naudascher, 2002

En el grafico N° 1 se muestra la concentración de aire para cada pendiente.

Gráfico N° 1: Concentración de aire para cada pendiente

Fuente: Elaboración propia, basado en Straub et al., 1960

6.3 Depuración de contaminantes en la rápida

6.3.1 Cálculo de oxígeno requerido para la oxidación biológica.

- **Para el Colector 1**

$$OR = F \times So \times Q \times 10^{-3}$$

F = 1.3, coeficiente para aguas residuales domesticas

Q = 1.52, caudal (m³/h).

So = 2.54, DBO de afluente (mg/l)

Reemplazando los valores tenemos:

$$OR = 1.3 \times 2.54 \times 1.53 \times 10^{-3}$$

$$OR = 0.005 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

- **Para el Colector 2**

$$OR = F \times So \times Q \times 10^{-3}$$

F = 1.3, coeficiente para aguas residuales domesticas

Q = 1.21, caudal (m³/h).

So = 2.01, DBO de afluente (mg/l)

Reemplazando los valores tenemos:

$$OR = 1.3 \times 2.01 \times 1.21 \times 10^{-3}$$

$$OR = 0.003 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

- **Para el Colector 3**

$$OR = F \times So \times Q \times 10^{-3}$$

F = 1.3, coeficiente para aguas residuales domesticas

Q = 21.20, caudal (m³/h).

So = 35.25, DBO de afluente (mg/l)

Reemplazando los valores tenemos:

$$OR = 1.3 \times 35.25 \times 21.20 \times 10^{-3}$$

$$OR = 0.97 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

En la tabla N° 40 se muestra el cálculo del oxígeno requerido para cada colector.

Tabla N° 40: Cálculo del Oxígeno Requerido

<i>Colector</i>	<i>Población hab</i>	<i>Q TOTAL promedio</i>			<i>DBO</i>	<i>POTENCIA</i>	<i>factor</i>	<i>Oxígeno Requerido</i>
		<i>l/s</i>	<i>m3/d</i>	<i>m3/h</i>	<i>mg/l</i>	<i>10⁻³</i>		<i>kg/h</i>
Colector 1	208	0.42	36.61	1.53	2.54	0.001	1.3	0.005
Colector 2	165	0.34	29.04	1.21	2.01	0.001	1.3	0.003
Colector 3	2891	5.89	508.75	21.20	35.25	0.001	1.3	0.97

Fuente: Elaboración propia

6.3.2 Cálculo de la presión atmosférica para la ciudad de Vitor

De acuerdo con la ecuación de Halley tenemos:

$$P = 767e^{(-E/8005)} \quad (6.3)$$

Dónde:

P = Presión atmosférica local a nivel de la ciudad de Vitor.

E = Altura sobre el nivel del mar (1620 msnm)

Remplazando valores se tiene

$$P = 767e^{(-1620/8005)}$$

$$P = 767e^{-(0.149906308557)}$$

$$P = 626.47 \text{ mmHg} = 0.82 \text{ atm}$$

La presión en Arequipa es de 626.47 mmHg, respecto al nivel del mar teniendo una pérdida del 20% obteniendo presencia de oxígeno que influirá el sistema de aireación.

Cálculo del oxígeno respecto a la presión parcial (ppo2):

Teniendo en cuenta que la abundancia de oxígeno dentro de la atmosfera es de 21% de O₂, por tanto:

$$PPO_2 = 0.21 \times P \quad (6.4)$$

$$PPO_2 = 0.21 \times 626.47 \text{ mmHg}$$

$$PPO_2 = 131.56 \text{ mmHg}$$

PPO₂ = 0.1731 atm (Presión parcial de oxígeno en Arequipa) que es la que en realidad varia a diferentes alturas o pisos ecológicos.

De las constantes de Henry obtenemos que a T 20°C equivalga a 4.01×10^{-4} atm/fracción molar, luego para T 18°C interpolamos obteniendo un valor de 3.86×10^{-4} .

Cálculo de fracción molar de equilibrio del gas disuelto (oxígeno disuelto) en el agua.

Con la fórmula de Henry:

$$P = H \cdot X \quad (6.5)$$

Dónde:

P = Valor parcial del oxígeno respecto a la presión

X = Relación del mol respecto al oxígeno

H = Valor constante

Despejando X y remplazando valores obtenemos

$$X = \frac{P}{H}$$

$$X = \frac{0.1731 \text{ atm}}{3.86 \times 10^{-4} \frac{\text{atm}}{\text{fracción mol}}}$$

X = 4.48×10^{-6} es el resultado del oxígeno respecto a los moles de agua.

Cálculo de concentración de saturación de oxígeno en el agua (Cs) a 18 °C y a 0.8243 atmosferas.

La cantidad de moles por cada unidad de agua se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\eta_w = \frac{1000g/L}{18g/L}; \quad \eta_w = 55.6 \text{ mol/L}$$

Los 55.6 mol/L representan el número de moles por cada litro de agua.

La cantidad de oxígeno en 1 lt de H₂O se determina mediante con la siguiente formula:

$$\eta_g = \frac{\eta_w \cdot X}{1 - X}$$

$$\eta_g = \frac{55.6 \times 4.48 \times 10^{-6}}{1 - 4.48 \times 10^{-6}} \Rightarrow \frac{249.09 \times 10^{-6}}{0.99999568}$$

$$\eta_g = 2.49 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$$

El η_g nos sirve para obtener la saturación concentrada en el oxígeno:

- Desarrollo del grado de saturación para el O_2 .
- Aplicando la ecuación respectiva obtenemos el grado de saturación para la concentración de O_2 .

$$C_s = 2.49 \times 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times \frac{32\text{g}}{\text{mol}}$$

$$C_s = 79.68 \times 10^{-4} \frac{\text{g}}{\text{L}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1\text{g}}$$

$$C_s = 7.96 \text{ milligrams } O_2/\text{L}$$

El resultado obtenido nos da a conocer la proporción de oxígeno disuelto por 1l de H_2O .

Cálculo del coeficiente global de transferencia de oxígeno

Con la fórmula de FICK de transferencia de masa obtenemos:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -D_{O_2} \cdot A \frac{\partial C_{O_2}}{\partial X} \quad (6.6)$$

$$\frac{dc}{dt} = \frac{D_{O_2}}{\Delta X} \cdot \frac{A}{V} \cdot (C_s - C) \quad (6.6.1)$$

$$\frac{dy}{dx} = K_L a \cdot (C_s - C) \quad (6.6.2)$$

Dónde:

V = Volumen aproximado de tratamiento en m^3 . $\approx 1954.30 \text{ m}^3$

D_{O_2} = Valor de difusión para el oxígeno $\approx 2.06 \text{ cm}^2 / \text{s}$

A = cantidad de influencia de la aireación en m^2 . $\approx 1444.22 \text{ m}^2$

$$a = \frac{A}{V} = \frac{1444.22 \text{ m}^2}{1954.30 \text{ m}^3} = 0.739 \text{ m}$$

$$D_{O_2} = 2.06 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times \frac{3600}{\text{h}} = 0.7416 \text{ m}^2/\text{h}$$

$$Kl = \frac{Do2}{\Delta x} = \frac{0,7416 \text{ m}^2/h}{3m} = 0,2472 \text{ m/h}$$

$$Kl \times a = 0,2472 \frac{m}{h} \times \frac{0,739}{m} = 0,182681 \text{ h}^{-1}$$

Por lo tanto, el coeficiente de transferencia será:

$$Kl. a = 0,182681 \text{ h}^{-1} \cong 0,18 \text{ h}^{-1} = \frac{0,18}{h}$$

Cálculo del DBO removido en el Colector 3

Tabla N° 41: Datos para cálculo de DBO removido

Colector	Poblacion hab	Q TOTAL promedio		
		l/s	m3/d	m3/h
Colector 3	2891	5.89	508.75	21.20

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 43: Ubicación del colector 3

Fuente: Elaboración propia

“La reducción de bacterias en las lagunas de estabilización está determinada en términos de coliformes Termotolerantes, como indicador microbiológico según lo establecido en la Norma OS-090. En el desarrollo del cálculo se aplicó la ecuación de flujo disperso con los coeficientes de mortalidad netos para los diferentes tipos de unidades” (Es.scribd.com, Memoria de cálculo, 2018, p.143).

$$\frac{N_e}{N_o} = \frac{4ae^{[(1-d)/2d]}}{(1+a)^2}; a = \sqrt{1 + 4K_b R d}$$

Dónde:

d: La cantidad de dispersión

R: Tiempo de retención hidráulica por día

No: Cantidad de coliformes para el afluente

Ne: Cantidad de coliformes para el efluente

Kb: Valor de mortalidad para coliformes bacterianos

La interacción del largo, ancho y altura se determinó con la ecuación del factor de dispersión teniendo en consideración la temperatura promedio del agua.

$$d = \frac{1.158[R(W + 2Z)]^{0.489}W^{1.511}}{(T + 42.5)^{0.734}(LZ)^{1.489}}$$

Dónde:

W: valor del ancho medio para la laguna (ml)

L: valor del largo medio de laguna (ml)

Z: valor de la profundidad hasta el espejo de agua

T: valor de la temperatura del mes más frío en promedio

Para la corrección del valor de mortalidad aplicamos la siguiente ecuación:

$$K_T = K_{20} \times 1.05^{(T-20)}$$

Dónde:

KT: Valor de la mortalidad neta para la temperatura promedio del mes más frío (°C)

K20: Valor de la mortalidad para una temperatura de 20°C

“La estimación de los coliformes Termotolerantes se obtuvo de la aplicación de la ecuación indicada, para el efluente de la laguna secundaria será de 5.6E+4 NMP/100 mL, valor que se encuentra por encima del LMP para efluentes de PTAR y de la calidad requerida para reúso en riego” (Es.scribd.com, Memoria de cálculo, 2018, p.144).

Remoción de la DBO en la Laguna Primaria

$$K_b = K_{20} \times 1.05^{(T-20)} = 0.12 \times 1.05^{(18-20)} = 0.11$$

$$a = \sqrt{1 + 4 \times 0.11 \times 4.80 \times 0.87} = 1.68$$

$$Remoción_{DBO5} = \frac{35.25 \times 4 \times 1.68 \times e^{\left(\frac{1-1.68}{2 \times 0.12}\right)}}{(1 + 1.68)^2} = 1.93 \text{ Kg DBO/d}$$

En la tabla N° 42 se muestra la cantidad de afluentes y efluentes en el colector 3.

Tabla N° 42: Cantidad de afluente y efluente en el colector 3

<i>Colector</i>	<i>Población hab</i>	<i>Q TOTAL promedio</i>			<i>DBO afluente</i>	<i>Remoción DBO</i>	<i>DBO efluente</i>
		<i>l/s</i>	<i>m3/d</i>	<i>m3/h</i>	<i>mg/l</i>	<i>kg/h</i>	<i>mg/l</i>
<i>Colector 3</i>	<i>2891.18</i>	<i>5.89</i>	<i>508.75</i>	<i>21.20</i>	<i>35.25</i>	<i>1.93</i>	<i>33.32</i>

Fuente: Elaboración propia

6.4 Diseño de la laguna primaria y secundaria optimizada

Con los cálculos anteriores se ha demostrado que existe remoción de DBO y SST en las redes de alcantarillado y conducción, de manera que los valores de estas variables para el diseño de la PTAR Optimizada hidráulicamente son menores al de la PTAR convencional. Esto permite obtener menores dimensiones de la PTAR optimizada como se demostrará a continuación confirmando la hipótesis de la presente Tesis.

Los nuevos parámetros de ingreso para el diseño de la laguna primaria han sido reducidos por la remoción del DBO en el colector 3, generando un nuevo DBO que ingresa a la PTAR que se visualizan en la tabla N° 43:

Tabla N° 43: Parámetros de ingreso para la laguna primaria

<i>Parámetro</i>	<i>Año 2039</i>
<i>Población Total (hab)</i>	<i>3264</i>
<i>Caudal Promedio (m3/día)</i>	<i>574.40</i>
<i>DBO (mg/L)</i>	<i>33.32</i>
<i>SST (mg/L)</i>	<i>64.04</i>

Fuente: Elaboración propia

Dimensiones de la laguna primaria:

En la tabla N° 44 se muestran las medidas para la laguna primaria.

Tabla N° 44: Dimensiones de la laguna primaria

<i>Descripción</i>	<i>Largo (m)</i>	<i>Ancho (m)</i>
<i>A Nivel de Coronación</i>	<i>55.40</i>	<i>22.50</i>
<i>A Nivel de Espejo de Agua</i>	<i>53.40</i>	<i>20.50</i>
<i>A Nivel Medio</i>	<i>49.40</i>	<i>16.50</i>
<i>A Nivel de Fondo</i>	<i>45.40</i>	<i>12.50</i>

Fuente: Elaboración propia

Para la laguna secundaria los nuevos parámetros de ingreso se presentan en la tabla N° 45.

Tabla N° 45: Parámetros de ingreso para la laguna secundaria

<i>Parámetro</i>	<i>Año 2039</i>
<i>Población Total (hab)</i>	<i>3264</i>
<i>Caudal Promedio (m3/día)</i>	<i>574.40</i>
<i>DBO (mg/L)</i>	<i>12.31</i>
<i>SST (mg/L)</i>	<i>24.17</i>

Fuente: Elaboración propia

Dimensiones de la laguna secundaria:

En la tabla N° 46 se muestran las dimensiones de la laguna secundaria.

Tabla N° 46: Dimensiones de la laguna secundaria

<i>Descripción</i>	<i>Largo (m)</i>	<i>Ancho (m)</i>
<i>A Nivel de Coronación</i>	<i>36.60</i>	<i>16.20</i>
<i>A la altura del Espejo de Agua</i>	<i>34.60</i>	<i>14.20</i>
<i>A la altura Media</i>	<i>30.60</i>	<i>10.20</i>
<i>A Nivel de Fondo</i>	<i>26.60</i>	<i>6.20</i>

Fuente: Elaboración propia

6.5 Resumen de cálculo laguna primaria y secundaria – PTAR Optimizada

Tabla N° 47 Dimensionamiento Laguna Facultativa Primaria – PTAR Optimizada

Dimensionamiento Optimizado de la laguna facultativa Primaria			
DESCRIPCIÓN	SIMBOLO	VALOR	UNIDAD
Población Servida	Pa	2,675	hab
Tasa de Crecimiento Anual	r	0.01	
Periodo de Diseño	T	20	años
Población de Diseño	Pd	3264	hab
Caudal Maximo Horario	Qmh	11.97	l/s
Caudal Promedio	Qp	6.65	l/s
DBO Afluente	DBOa	33.32	mg/L
Coliformes Totales	N	1.20E+06	NMP/100ml
Temperatura del Mes mas Frio	T	18	°C
Carga Organica de Ingreso	Corg	19.14	kg DBO/d
Carga Superficial de Diseño	Cs	226.76	kg DBO/Ha.d
Area Requerida	At	0.08	Ha
Numero de Lagunas	N	1	
Area por Laguna	Au	0.08	Ha
Relación Largo/Ancho	l/a	3	
Ancho a Nivel Medio	W	16.5	m
Largo a Nivel Medio	L	49.4	m
Talud	Z	2	
Altura de Agua	h	2	m
Borde Libre	BL	0.50	m
DIMENSIONES DE LA LAGUNA			
Largo a Nivel de la Corona	ls	55.4	m
Largo a Nivel Espejo de Agua	la	53.4	m
Largo en el Fondo	lf	45.4	m
Ancho a Nivel de la Corona	as	22.5	m
Ancho a Nivel Espejo de Agua	aa	20.5	m
Ancho en el Fondo	af	12.5	m
Volumen de Masa de Agua	Va	1631.58	m3
PRODUCCIÓN DE LODOS			
Solidos Suspensión Total Ingreso	SST	64.04	mg/L
Carga de Solidos	S	36.8	Kg SST/d
% de Reducción de Solidos Volatiles (SEGÚN NORMA OS 090)	%SV	50	%
Materia Seca (Lodos)	Ms	11.96	kg/d
% Solidos (SEGÚN NORMA OS 090)	%S	10	%
Densidad de Lodos	Dl	1.03	Kg/L
Volumen de Lodos	Vl	116.07	L lodo/d
Volumen de Lodos	Vl	0.12	m3 lodo/d
Periodo de Limpieza de la Laguna	pl	5	años
Volumen Total de Lodos	Vtl	211.82	m3
Volumen Total de Lodos por Laguna	Vtlu	211.82	m3
Area del Fondo de la Laguna	Af	567	m2
Altura de Lodos	Hl	0.36	m
Volumen Total de la Laguna	Vtlg	1843	m3
Periodo de Retención	Pr	2.84	días
Factor de Corrección Hidraulica	Fch	0.60	
Periodo de Retención Real	Prr	1.70	días

Nota: Descripción, símbolo, unidad. Adaptado de “02.Memoria-calculo.pdf” por N.Follano, 2018, p. 158-159, es.scribd.com.

Tabla N° 48 Dimensionamiento Laguna Facultativa Secundaria – PTAR Optimizada

Dimensionamiento Optimizado de la laguna facultativa Secundaria			
DESCRIPCIÓN	SIMBOLO	VALOR	UNIDAD
Población Servida	Pa	2,675	hab
Tasa de Crecimiento Anual	r	0.01	
Periodo de Diseño	T	20	años
Población de Diseño	Pd	3264	hab
Caudal Maximo Horario	Qmh	11.97	l/s
Caudal Promedio	Qp	6.65	l/s
DBO Afluente	DBOa	12.31	mg/L
Coliformes Totales	N	1.20E+06	NMP/100ml
Temperatura del Mes mas Frio	T	18	°C
Carga Organica de Ingreso	Corg	7.07	kg DBO/d
Carga Superficial de Diseño	Cs	226.76	kg DBO/Ha.d
Area Requerida	At	0.03	Ha
Numero de Lagunas	N	1	
Area por Laguna	Au	0.03	Ha
Relación Largo/Ancho	l/a	3	
Ancho a Nivel Medio	W	10.2	m
Largo a Nivel Medio	L	30.6	m
Talud	Z	2	
Altura de Agua	h	2	m
Borde Libre	BL	0.50	m
DIMENSIONES DE LA LAGUNA			
Largo a Nivel de la Corona	ls	36.6	m
Largo a Nivel Espejo de Agua	la	34.6	m
Largo en el Fondo	lf	26.6	m
Ancho a Nivel de la Corona	as	16.2	m
Ancho a Nivel Espejo de Agua	aa	14.2	m
Ancho en el Fondo	af	6.2	m
Volumen de Masa de Agua	Va	626.67	m3
PRODUCCIÓN DE LODOS			
Solidos Suspensión Total Ingreso	SST	24.17	mg/L
Carga de Solidos	S	13.9	Kg SST/d
% de Reducción de Solidos Volatiles	%SV	50	%
Materia Seca (Lodos)	Ms	4.51	kg/d
% Solidos	%S	10	%
Densidad de Lodos	Dl	1.03	Kg/L
Volumen de Lodos	Vl	43.81	L lodo/d
Volumen de Lodos	Vl	0.04	m3 lodo/d
Periodo de Limpieza de la Laguna	pl	5	años
Volumen Total de Lodos	Vtl	79.95	m3
Volumen Total de Lodos por Laguna	Vtlu	79.95	m3
Area del Fondo de la Laguna	Af	165	m2
Altura de Lodos	Hl	0.49	m
Volumen Total de la Laguna	Vtlg	707	m3
Periodo de Retención	Pr	1.09	días
Factor de Corrección Hidraulica	Fch	0.60	
Periodo de Retención Real	Prr	0.65	días

Nota: Descripción, símbolo, unidad. Adaptado de “02.Memoria-calculo.pdf” por N.Follano, 2018, p. 160-161, es.scribd.com.

7 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1 Verificación de resultados

7.1.1 Comparativo técnico económico

Los costos más representativos en inversión inicial de sistemas naturales están constituidos por el costo del lote necesario para la construcción del sistema, por los costos de impermeabilización y por el costo de operación y mantenimiento. La diferencia entre los costos de construcción de los sistemas está dada por la excavación donde se generan grandes volúmenes de movimiento de tierras, corte y relleno. En el grafico N° 2 se muestra un comparativo entre el volumen de masa de agua de la laguna primaria y secundaria de la PTAR Tradicional vs la optimizada y en el grafico N° 3 se muestra el área ocupada de la laguna primaria y secundaria de la PTAR Tradicional vs la optimizada.

Gráfico N° 2 Volumen de masa de agua de la Laguna Primaria y Secundaria - PTAR Tradicional vs Optimizada

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3 Área ocupada de la Laguna primaria y secundaria - PTAR Tradicional vs Optimizada

Fuente: Elaboración propia

Los presupuestos con los costos de referencia para cada PTAR se muestran la tabla N° 49 – PTAR Convencional y la tabla N° 50 – PTAR Optimizada.

Tabla N° 49 Presupuesto de la PTAR convencional

Presupuesto							
Proyecto	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES - DISEÑO CONVENCIONAL						
	LOCALIDAD DE VITOR - AREQUIPA - AREQUIPA						
Sub Presupuesto	CONSTRUCCION DE PTAR CONVENCIONAL						
Cliente	Usuario						
Ubicación	VITOR - AREQUIPA - AREQUIPA				Costo a :	Nov-18	
Item	Descripción	Unidad	Metrado	Precio	Parcial	Subtotal	Total
1.00	CONSTRUCCION DE PTAR						209,735.31
1.01	LAGUNA PRIMARIA Y SECUNDARIA					209,735.31	
1.01.01	TRABAJOS PRELIMINARES					13,744.50	
1.01.01.01	TRAZO Y REPLANTEO INICIAL P/CONSTRUCCI	M2	1,570.80	2.91	4,571.03		
1.01.01.02	LIMPIEZA Y DESBROCE DE TERRENO NATURA	M2	1,570.80	5.84	9,173.47		
1.01.02	DEMOLICIONES Y MOVIMIENTOS DE TIERRA					63,326.76	
1.01.02.01	EXCAVACION MASIVA E/P H=2.30M (EQUIPO)	M3	3,317.52	7.71	25,578.08		
1.01.02.02	PERFILADO Y NIVELACION	M2	386.86	10.48	4,054.29		
1.01.02.03	ELIMINACION DE DESMONTE A BOTADERO R=	M3	1,492.88	22.57	33,694.39		
1.01.03	REVESTIMIENTO DE TALUD Y FONDO DE LAGUNAS Y HUMEDALES					81,913.64	
1.01.03.01	EXCAVACION DE ZANJAS DE ANCLAJE	M3	48.05	51.75	2,486.59		
1.01.03.02	SUMINISTRO Y COLOCACION DE GEOMEMBRA	M2	541.60	57.05	30,898.51		
1.01.03.03	SUMINISTRO Y COLOCACION DE ARCILLA + GE	M2	541.60	49.60	26,863.56		
1.01.03.04	SUMINISTRO Y COLOCACION DE MATERIAL PL	M2	541.60	33.72	18,262.89		
1.01.03.05	RELLENO Y APISONADO DE ZANJA	M	192.20	10.28	1,975.82		
1.01.03.06	RELLENO CON AFIRMADO DE 6" EN CORONA	M2	90.10	15.83	1,426.28		
1.01.04	CERCO PERIMETRICO					50,750.41	
1.01.04.01	LIMPIEZA Y ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO	M2	100.92	3.51	354.23		
1.01.04.02	TRAZO Y REPLANTEO INICIAL PARA CERCO PERIM	M	180.20	1.09	196.42		
1.01.04.03	REPLANTEO FINAL DE LA OBRA PARA CERCO PERI	M	180.20	0.19	34.24		
1.01.04.04	EXCAVACION PARA CIMIENTOS EN TN HASTA H=1.	M3	9.72	35.83	348.27		
1.01.04.06	CONCRETO F'C=175 KG/CM2 C.A:P C/MEZCLADORA	M3	9.72	186.75	1,815.21		
1.01.04.07	CERCO DE MALLA GALVANIZADA 12 x 2" CON MARC	M2	360.40	125.16	45,107.66		
1.01.04.08	PUERTA CON MARCO DE TUBO FIERRO GALVANIZA	M2	7.20	350.07	2,520.50		
1.01.04.09	PICAPORTES	UND	6	41.98	251.88		
1.01.04.10	CANDADO INCLUYE ALDABAS	UND	2	61.00	122.00		
	COSTO DIRECTO						209,735.31
	IGV.					18%	37,752.36
	PRESUPUESTO TOTAL						247,487.67

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 50 Presupuesto de la PTAR optimizada

Presupuesto							
Proyecto	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES - DISEÑO CONVENCIONAL						
	LOCALIDAD DE VITOR - AREQUIPA - AREQUIPA						
Sub Presupuesto	CONSTRUCCION DE PTAR OPTIMIZADA						
Cliente	Usuario						
Ubicación	VITOR - AREQUIPA - AREQUIPA				Costo a :	Nov-18	
Item	Descripción	Unidad	Metrado	Precio	Parcial	Subtotal	Total
1.00	CONSTRUCCION DE PTAR						185,667.18
1.01	LAGUNA PRIMARIA Y SECUNDARIA					185,667.18	
1.01.01	TRABAJOS PRELIMINARES					11,949.00	
1.01.01.01	TRAZO Y REPLANTEO INICIAL P/CONSTRUCCI	M2	1,365.60	2.91	3,973.90		
1.01.01.02	LIMPIEZA Y DESBROCE DE TERRENO NATURA	M2	1,365.60	5.84	7,975.10		
1.01.02	DEMOLICIONES Y MOVIMIENTOS DE TIERRA					49,837.36	
1.01.02.01	EXCAVACION MASIVA E/P H=2.80M (EQUIPO)	M3	2,866.95	7.71	22,104.18		
1.01.02.02	PERFILADO Y NIVELACION	M2	361.79	10.48	3,791.56		
1.01.02.03	ELIMINACION DE DESMONTE A BOTADERO R=	M3	1,060.77	22.57	23,941.61		
1.01.03	REVESTIMIENTO DE TALUD Y FONDO DE LAGUNAS Y HUMEDALES					76,600.89	
1.01.03.01	EXCAVACION DE ZANJAS DE ANCLAJE	M3	44.95	51.75	2,326.16		
1.01.03.02	SUMINISTRO Y COLOCACION DE GEOMEMBRA	M2	506.51	57.05	28,896.17		
1.01.03.03	SUMINISTRO Y COLOCACION DE ARCILLA + GE	M2	506.51	49.60	25,122.70		
1.01.03.04	SUMINISTRO Y COLOCACION DE MATERIAL PL	M2	506.51	33.72	17,079.38		
1.01.03.05	RELLENO Y APISONADO DE ZANJA	M	179.80	10.28	1,848.34		
1.01.03.06	RELLENO CON AFIRMADO DE 6" EN CORONA	M2	83.90	15.83	1,328.14		
1.01.04	CERCO PERIMETRICO					47,279.93	
1.01.04.01	LIMPIEZA Y ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO	M2	93.48	3.51	328.11		
1.01.04.02	TRAZO Y REPLANTEO INICIAL PARA CERCO PERIM	M	167.80	1.09	182.90		
1.01.04.03	REPLANTEO FINAL DE LA OBRA PARA CERCO PERI	M	167.80	0.19	31.88		
1.01.04.04	EXCAVACION PARA CIMIENTOS EN TN HASTA H=1.	M3	8.26	35.83	296.03		
1.01.04.06	CONCRETO F'C=175 KG/CM2 C:A:P C/MEZCLADORA	M3	8.26	186.75	1,542.93		
1.01.04.07	CERCO DE MALLA GALVANIZADA 12 x 2" CON MARC	M2	335.60	125.16	42,003.70		
1.01.04.08	PUERTA CON MARCO DE TUBO FIERRO GALVANIZA	m2	7.20	350.07	2,520.50		
1.01.04.09	PICAPORTES	UND	6.00	41.98	251.88		
1.01.04.10	CANDADO INCLUYE ALDABAS	UND	2.00	61.00	122.00		
	COSTO DIRECTO						185,667.18
	IGV.					18%	33,420.09
	PRESUPUESTO TOTAL						219,087.27

Fuente: Elaboración propia

Luego de aplicar los cálculos de aireación debido a la fuerte pendiente en las redes de alcantarillado y sistemas de conducción se logra reducir el área ocupada y el volumen requerido, por ende, los costos también disminuyen considerablemente con relación a la infraestructura, operación y mantenimiento como se detalla en el grafico N° 4. Como se logra demostrar a través de los gráficos comparativos del área, volumen, costes de construcción, operacionalización de la PTAR tradicional y optimizada.

De las dos alternativas estudiadas, la mejor alternativa es la PTAR Optimizada, que presenta menor requerimiento de área, costo de construcción, operación y mantenimiento, resultando ser más factible para las condiciones del lugar y la población de servicio.

7.1.2 Costos de operación y mantenimiento

Las actividades de operacionalización difieren básicamente, en que las de “operación” se accionan a las estructuras y las de “mantenimiento”, hacen que las estructuras se representan normalmente en condiciones adecuadas para su funcionamiento. En la práctica, esas actividades están íntimamente ligadas, los principales aspectos de coincidencia son:

- El técnico de operación de una unidad o de un equipo, tiene la responsabilidad de darle un mantenimiento correctivo informando constantemente sobre las posibles interferencias en el sistema.
- Los tiempos del mantenimiento preventivo y en algunos lugares la que estime el correctivo, no pueden hacerse sin tener en consideración la operacionalización del sistema.
- Tenemos varias etapas que son difíciles de cuantificar.
- El manteniendo será cada vez más importante en la medida que se implementen más equipos tecnológicos.

En el gráfico N° 4 se indica el comparativo de costos referenciales con relación a la operacionalización de la PTAR tradicional vs la optimizada. Se observa la reducción de costos debido a la fuerte pendiente en el sistema de alcantarillado existente, donde se produce la remoción del contaminante en distintas proporciones.

**Gráfico N° 4 Costos de construcción, operación y mantenimiento - PTAR
Tradicional vs Optimizada**

Fuente: Elaboración propia

En la actualidad la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas en la localidad de Vítor – Arequipa se encuentra en un estado deficiente, carece de una gestión adecuado de operacionalización que generan altos costos a largo plazo.

En la figura N° 44 se muestra la vista general de la PTAR.

Figura N° 44: Vista general de la PTAR

Fuente: Propia de la visita realizada a la PTAR.

En la figura N° 45 se puede apreciar que la laguna primaria se encuentra en su estado máximo de almacenamiento, debido a la falta de mantenimiento y operatividad del sistema.

Figura N° 45: Vista del canal de Parshall y la laguna primaria

Fuente: Propia de la visita realizada a la PTAR.

Gestión ambiental y social

Áreas de influencia

“Área de Influencia Directa: El área de influencia directa está definida por aquella que sufra transformaciones ambientales o socioeconómicas directas, debido a las diferentes actividades en la etapa de operación de la planta” (Docplayer.es, Vásquez, 2016, p. 35).

- Analizando los posibles impactos que pueden afectar las actividades de la planta, tomamos a partir del lugar donde se construirá la infraestructura de la planta de tratamiento incluyendo las lagunas.

La Influencia Indirecta: Se produce, “en general, como reacción a los cambios en los componentes ambientales debido a los impactos en el área de influencia directa; es decir, es el área en el que se manifiestan los impactos indirectos o inducidos” (Docplayer.es, Vásquez, 2016, p. 35).

- El área que influye directamente tiene un radio de cobertura de 100 metros en los cuales se encuentran terrenos baldíos. Sin embargo, desde el punto de vista social se considera toda la comunidad de Vítor, por los beneficios que implicar la operación del sistema.

Impacto social y ambiental en la población

La construcción del proyecto, de la Planta de Tratamiento de Aguas residuales, genera expectativas en sus habitantes ya que el mismo es puesto a conocimiento por las autoridades a los ciudadanos y su ejecución permitirá crear fuentes de trabajo.

Para mitigar estos impactos se consideró:

- Mantener informado a la población sobre el desarrollo del proyecto, así como a las autoridades locales de la comunidad de Vítor.
- Crear actividades de participación e inclusión social que beneficie a la población.
- “Las pocas PTAR que operan no cuentan con un monitoreo y registro de datos, tampoco cumplen aún con los niveles de purificación necesarios, esto genera impactos ambientales negativos y riesgos para la salud de los seres humanos” (FONAM, 2010, p. 32).

Por eso es necesario poder crear actividades de inclusión social donde pueda intervenir la población, así como tener convenios con los entes de supervisión y mantenimiento.

- “El índice de tratamiento de aguas residuales es bajo, donde muchas veces los residuos son volcados sin tratamiento a ríos, lagos, mar u otros cuerpos receptores, afectándolos y creando focos de contaminación en los puntos de descarga y aguas abajo. Esta situación podría verse mejorada con una activa fiscalización de las autoridades municipales y encargadas del tratamiento de aguas residuales” (FONAM, 2010, p. 32).
- “Existe escaso interés de implementar y operar PTARs, adicionalmente está el problema del uso indebido de aguas residuales en la agricultura. Los Gobiernos Regionales no designan un monto dentro del presupuesto participativo para la implementación y operación de estas” (FONAM, 2010, p. 32).

Cambios en la calidad de Vida

La construcción e infraestructura de la PTAR constituirá una oportunidad para mejorar la calidad de vida de la población, esto nos permitirá conducir las aguas servidas generadas en cada una de sus viviendas y sitios de trabajo, para ser tratadas adecuadamente.

Asimismo, se crearán nuevos puestos de trabajo. Generando un impacto positivo en la comunidad.

7.2 Discusión

Determinación de parámetros

Para efectuar los estudios en campo primero debemos identificar los parámetros importantes en estudio. En la presente investigación se analizarán los parámetros biológicos, físicos y químicos de las cuales específicamente nos enfocaremos en el DBO, DQO, SST, temperatura (T°), Caudal (Q) y coliformes fecales.

Estudio en campo

Estos principales parámetros que influyen en el diseño se identificaron de manera oportuna, los mismos que se analizaron con el apoyo del laboratorio SAG. S.A.C, los resultados obtenidos se muestran en la tabla N°54.

La caracterización de las muestras se realizó en las zonas que presentan mayor pendiente, ubicando los sitios de monitoreo en los buzones (MA-1, MA-2 y MA-3) que presentan estas condiciones, siendo necesario la presencia de un técnico en cada buzón para tomar las muestras directamente en frascos y llevarlos posteriormente al análisis de laboratorio. La medición de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) se realizó a través de un Termómetro digital de marca *Traceable*. Para el muestro el equipo debe estar calibrado y acreditado por INACAL.

En la figura N° 46 se muestran los lugares que se han escogido para la toma del muestreo en la presente investigación.

Figura N° 46: Ubicación de Puntos de Muestreo

Fuente: Elaboración propia

Fichas de identificación de cada muestra

Tabla N° 51 Ficha de identificación punto MA-01

FICHA DE IDENTIFICACIÓN PARA AGUA RESIDUAL

Nombre del cliente:	Miguel Jhuniur Daviran Paucar y Carmen del Rosario Huamani Centeno
Referencia:	Monitoreo en agua en PTAR - Buzones
Ubicación:	VITOR - AREQUIPA - AREQUIPA
Numero y Ubicación del punto de monitoreo	
MA -01	
Descripción de la ubicación del punto de monitoreo:	
Buzón cerca a la panamericana Sur	
Coordenadas WGS 84 19K (Punto de Monitoreo)	
0186362 E; 8177132 N; 1189 msnm

Fuente: Elaboración propia basado en el informe de laboratorio

Tabla N° 52 Ficha de identificación punto MA-02

FICHA DE IDENTIFICACIÓN PARA AGUA RESIDUAL

Nombre del cliente:	Miguel Jhuniur Daviran Paucar y Carmen del Rosario Huamani Centeno
Referencia:	Monitoreo en agua en PTAR - Buzones
Ubicación:	VITOR - AREQUIPA - AREQUIPA
Numero y Ubicación del punto de monitoreo	
MA -02	
Descripción de la ubicación del punto de monitoreo:	
Buzón dentro de la PTAR	
Coordenadas WGS 84 19K (Punto de Monitoreo)	
0184738 E; 8173643 N; 1142 msnm

Fuente: Elaboración propia basado en el informe de laboratorio

Tabla N° 53 Ficha de identificación punto MA-03

FICHA DE IDENTIFICACIÓN PARA AGUA RESIDUAL

Nombre del cliente:	Miguel Jhuniur Daviran Paucar y Carmen del Rosario Huamani Centeno
Referencia:	Monitoreo en agua en PTAR - Buzones
Ubicación:	VITOR - AREQUIPA - AREQUIPA
Numero y Ubicación del punto de monitoreo	
MA -03	
Descripción de la ubicación del punto de monitoreo:	
Buzón en la carretera camino a la PTAR	
Coordenadas WGS 84 19K (Punto de Monitoreo)	
0185793 E; 8176470 N; 1163 msnm

Fuente: Elaboración propia basado en el informe de laboratorio

Resultados del laboratorio

Los resultados de las estaciones de monitoreo MA-1, MA-2 y MA-3, se han comparado con los LMP para los efluentes de PTAR, además se han determinado las concentraciones de DBO, DQO, solidos suspendidos totales (SST), coliformes fecales, temperatura y caudal, observando que en cada estación de monitoreo las concentraciones de los parámetros antes mencionados disminuyen gradualmente. En los puntos de monitoreo los valores serán mayores en la época de invierno.

Tabla N° 54 Resultados del Muestreo

Fecha de Monitoreo	21/09/2018	21/09/2018	21/09/2018	UNIDAD	LMP ⁽¹⁾
Hora de Monitoreo	07:25	08:30	09:10		
PARÁMETROS	AGUA RESIDUAL				
	MA-01	MA-02	MA-03		
Parámetros de campo					
Temperatura	13.7	12.9	13.6	°C	<35
Parámetros Fisiquímicos					
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	59.44	31.13	28.66	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	190.7	177.3	85.1	O ₂ mg/L	200
Solidos Suspendidos Totales (SST)	79.2	40.13	38.37	mg/L	150
Coliformes Fecales	49x10 ⁶	33x10 ⁴	79x10 ³	NMP/100mL	10,000
*Caudal	0.01	1.00	0.01	L/s	-

Fuente: Informe de laboratorio SAG SAC.

Gráficos del muestreo de laboratorio

Se identificó una variabilidad de la temperatura tomada para cada estación de monitoreo, en el MA-01 se obtuvo un valor de 13.7°C, mientras que en el MA-02 se obtuvo 12.9 °C, estos valores tienden a bajar en 5.85%, regresando a una temperatura normal de 13.6 °C en la estación MA-03. Los resultados obtenidos representan un promedio de temperatura igual a 13,4°C. Encontrándose debajo de los LMP establecidos.

Gráfico N° 5: Temperatura según muestras

Fuente: Elaboración propia

En el grafico N° 6 se observa una variación de la demanda bioquímica de oxígeno tomada en cada estación de monitoreo. El valor de Demanda Bioquímica de Oxígeno, registrada en las estaciones de monitoreo MA-01, MA-02 y MA-03, se encuentra por debajo del valor establecido en el (D.S N.° 003, 2010, MINAM)

Gráfico N° 6: DBO según muestras

Fuente: Elaboración propia

En el grafico N° 7 se observa una variación de la demanda química de oxígeno tomada en cada estación de monitoreo. El valor de Demanda química de Oxígeno, registrada en las estaciones de monitoreo MA-01, MA-02 son superiores a los LPM y MA-03, se encuentra por debajo del valor establecido en El (D.S N.° 003, 2010, MINAM).

Gráfico N° 7: DQO según muestras

Fuente: Elaboración propia

En el grafico N° 8 se observa el valor de Sólidos Suspendidos Totales, registrado en las estaciones de monitoreo MA-01, MA-02 y MA-03, se encuentra por debajo del valor establecido en el Decreto Supremo N.° 003-2010-MINAM.

Gráfico N° 8: SST según muestras

Fuente: Elaboración propia

Con relación a las muestras de laboratorio, las tablas, gráficos y las visitas a campo realizadas se determina lo siguiente:

- En relación con la información teórica revisada, la investigación de campo y los resultados realizados en laboratorio, podemos concluir que la hipótesis planteada al inicio de la tesis
- La concentración del aire presente en las pendientes pronunciadas en las redes de alcantarillado genera mayor oxigenación en el agua residual, que permite obtener mayor remoción del contaminante en el fluido.
- Las muestras de laboratorio validan los cálculos hidráulicos teóricos, en donde se demuestra que los parámetros de ingreso a la PTAR son menores a los considerados en el diseño inicial, cuando se toma en cuenta el aporte de la pendiente pronunciada para la remoción del DBO.
- En la PTAR optimizada el valor de construcción, operacionalización son menores a la planta tradicional.

CONCLUSIONES

- La optimización Hidráulica es utilizar los conocimientos de la hidráulica para encontrar la mejor solución posible a una problemática para la presente investigación el parámetro de optimización está en base a la inclusión de los cálculos por aireación en el flujo debido a la fuerte pendiente, debido a ello se produce la depuración del contaminante.
- Para el diseño no se consideran condiciones geográficas particulares, por ejemplo, la fuerte pendiente que representa una ventaja importante en la reducción de materia orgánica.
- En la recopilación de información necesaria para la investigación se observó que la PTAR existente en Vítor está sobredimensionada.
- El diseño propuesto plantea la optimización de la PTAR considerando el aporte de la remoción de DBO a lo largo del trayecto del alcantarillado existente. Este trayecto presenta distintas pendientes propias de la topografía del terreno que no son consideradas en los diseños tradicionales.
- Utilizando el aporte realizado en la presente investigación en el campo de la Ingeniería civil se cumple la función de reducir costos en la etapa de construcción, operación y mantenimiento, aumentar la eficiencia del proceso y generan el menor impacto ambiental posible.
- Teniendo en cuenta la reducción del DBO se puede aprovechar la reutilización del agua residual con fines agrícolas en beneficio de la población del distrito de Vítor.
- Con la optimización del diseño de la PTAR se reduce el área requerida y la emisión de olores, siendo posible tener la PTAR a menor distancia de la población.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda poder realizar más pruebas de laboratorio para obtener mayor cantidad de datos que aumenten el rango de precisión de la remoción del DBO para cada pendiente.
- En redes de alcantarillado sin agua permanente como sucede en zonas secas no es recomendable la aplicación de lagunas, por lo que las algas del efluente pueden emitir olores al descomponerse por ello es recomendable reducir su tamaño.
- Considerar escenarios con mayores pendientes para analizar la cantidad de DBO que puede ser removido.
- Tener en consideración que a mayor turbulencia y velocidad del flujo se puede obtener mayor depuración del contaminante.
- Para el diseño de las PTAR se debe analizar las condiciones propias del lugar y las redes de alcantarillado existentes, con la finalidad de aprovechar los aportes de remoción del DBO en el trayecto de la red antes del diseño.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- D. López Gómez, R. Díaz Martínez, J.J. Rebollo Cillán. (2015). Influencia de la aireación del flujo en rápidas y en el rendimiento de amortiguación de energía en cuencos de resalto. Madrid: Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos – CEDEX.
- David L. Russell (1943). Tratamiento de aguas residuales: un enfoque práctico. Barcelona. España.
- Guía técnica N° 5. Aliviaderos y desagües. Anexo N° 2, aireación en rápidas (S/F).
- Gobierno Regional de Arequipa, Dirección Regional de Salud – Arequipa, (2017).
- Hidráulica de Canales, Naudascher, 2002
- INGEMET (2018). Geodinámica monitoreo Pie de Cuesta Vitor-Arequipa. Arequipa: Perú.
- Tratamiento-de-Aguas-Residuales-Domesticas. Arequipa: GRA-DRSA.
- Jordi Morato, Gustavo Pañuela (s/f). Manual de tecnologías sostenibles en tratamiento de aguas residuales. España.
- Jairo A. Romero Rojas (1999). Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Bogotá: Colombia.
- José de Miguel Muños. Componentes de los sistemas convencionales de depuración en aguas residuales. (S/F).
- Linsley-Franzini. (1972). Ingeniería de Los Recursos-Hidráulicos. New York: McGraw-Hill.
- Mefcalt & Eddy (1995). Ingeniería de aguas residuales. España: McGraw-Hill.
- Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (2006). Norma O.S 090 Plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (2006). Norma O.S 100 Consideraciones básicas de diseño de infraestructura sanitaria.
- Organismo de evaluación y fiscalización ambiental (2014). Fiscalización ambiental en aguas
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), (2015). Diagnóstico de coberturas del tratamiento de aguas residuales. Lima: SUNASS.
- Sonia Sánchez Marcos (2017). Depuración de las aguas residuales. Lima: Perú.
- Universidad san Ignacio de Loyola (2015). Las aguas residuales y su consecuencia en el Perú.
- CONAGUA.gob.mx (2007) Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de lagunas de estabilización.

ANEXOS