



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES MEDIANTE REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO
ASCENDENTE CON FILTROS PERCOLADORES, EN LA
LOCALIDAD DE LABERINTO, MADRE DE DIOS”**

TESIS

PRESENTADA POR:

CARLOS PAUL RAMIREZ NEIRA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO-PERÚ

2022



DEDICATORIA

A Dios: Por haberme permitido llegar a este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además por su infinita bondad y amor. Por no permitir que ninguno de mis seres queridos padezca consecuencias fatales en esta pandemia.

A mis Padres: Carlos y Rosalía, que con el paso de los días son el ejemplo de superación, humildad y sacrificio; enseñándome a valorar todo lo que tengo, por creer en mi persona ya que son cimiento incondicional para lograr cada una de mis metas.

A mi Hermana: Stefanny, gracias por estar a mi lado tanto en lo bueno como en lo malo, siempre estás ahí para apoyarme y yo haré lo mismo por ti toda la vida.

A mis Abuelos: José y Hermelinda, por demostrarme el amor a la familia, ejemplo de superación y responsabilidad, son sinónimo de sabiduría.

A mis Familiares: A mis tíos, tías, primos y primas. Porque con su ejemplo de toda la vida, han sido base de mi formación, cada uno de ustedes ha aportado grandes cosas a mi vida y les estaré siempre agradecido.

A mis Maestros: Por transmitirme sus diversos conocimientos y experiencia, ya que me formaron correctamente en el camino de esta hermosa profesión que es la Ingeniería Civil.



AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional del Altiplano Puno, mi Alma Máter, por haberme permitido ser parte de esta gran casa superior de estudios. Por compartir dificultades, retos, grandes momentos y alegrías inolvidables.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, por todo el conocimiento, enseñanzas y experiencias adquiridas para mi formación como Ingeniero Civil.

A mi asesor y jurados por su sapiencia, tolerancia y sabios consejos, ya que demostraron predisposición para el asesoramiento y apoyo de la presente tesis.

Agradezco a toda mi familia, a mis padres, hermana, abuelos, tíos y primos; por ser los principales gestores de mis sueños, gracias por confiar y creer en mi persona, mis metas y objetivos. Son mi ejemplo a seguir para toda la vida.

Al personal de la “PTAR Laberinto”, por el apoyo incondicional para el desarrollo de esta investigación.

Gracias a mis amigos y compañeros de la universidad, por compartir sus experiencias, conocimientos y consejos para desarrollar mi investigación.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	15
ABSTRACT.....	16

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.2.1. Problema General.....	20
1.2.2. Problemas Específicos	20
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	20
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
1.4.1. Objetivo General	23
1.4.2. Objetivos Específicos.....	23
1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	24
1.5.1. Hipótesis General.....	24
1.5.2. Hipótesis Específicas	24

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
2.2. AGUA RESIDUAL	29



2.3. COMPOSICIÓN DE LOS CAUDALES DE AGUAS RESIDUALES	30
2.4. COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES	30
2.5. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES	31
2.6. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.....	34
2.7. NIVELES Y PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	36
2.8. LEGISLACIÓN PERUANA RELACIONADA A LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	40
2.8.1. Normas peruanas generales.....	40
2.8.2. Normas ambientales y sanitarias.....	41
2.8.3. Límite Máximo Permisible (LMP)	42
2.8.4. Estándares de Calidad Ambiental (ECA).....	43

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	44
3.1.1. Tipo de investigación: Aplicativo.....	44
3.1.2. Diseño metodológico de la investigación: No Experimental.....	44
3.1.3. Tiempo de estudio: Transaccionales o transversales	44
3.1.4. Alcance o niveles de la investigación: Descriptivo	45
3.1.5. Enfoque de investigación: Cuantitativa	45
3.2. ÁMBITO DE ESTUDIO	46
3.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES “PTAR Laberinto”	46
3.2.2. Ubicación de la Muestra	49
3.2.3. Características generales del ámbito de estudio.....	51
3.2.4. Población y Muestra.....	53
3.3. MATERIALES	53



3.3.1. Aforo de caudal de la matriz de alcantarillado en la localidad de Puerto Rosario – Laberinto por el método volumétrico	53
3.3.2. Diseño de la PTAR Laberinto por el software “PTAR DISEÑO”	62
3.3.3. Análisis de Resultados del Diseño de la “PTAR Laberinto” elaborado por el software “PTAR Diseño”	146
3.3.4. Diseño del Reactor RAFA de la “PTAR Laberinto” por el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente. .	153
3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	162
3.4.1. Análisis Microbiológico y Químico del agua residual de la población de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto	163
3.4.2. Análisis Físico-Bacteriológico, Químico y Parasitológico del efluente de la “PTAR Laberinto”	178
3.5. METODOS ESTADÍSTICOS	193

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE CONSTRUCCIÓN Y OPERATIVIDAD DE LA “PTAR LABERINTO”	212
4.2. VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE LA “PTAR LABERINTO” APLICANDO EL SOFTWARE “PTAR DISEÑO”	216
4.2.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DEL TRATAMIENTO PRELIMINAR	216
4.2.2. CONCLUSIÓN GENERAL DEL TRATAMIENTO PRELIMINAR ...	218
4.2.3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DEL TRATAMIENTO PRIMARIO	218
4.3. OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA “PTAR LABERINTO” MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS SECUNDARIOS COMPLEMENTARIOS	220



4.3.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE TRATAMIENTOS SECUNDARIOS COMPLEMENTARIOS AL RAFA	220
4.3.2. CONCLUSIÓN GENERAL DE TRATAMIENTOS SECUNDARIOS COMPLEMENTARIOS AL RAFA	222
4.4. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA POBLACIÓN DE LABERINTO	223
4.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DIMENSIONAMIENTO DE LA “PTAR LABERINTO” MEDIANTE EL SOFTWARE IBM SPSS	225
V. CONCLUSIONES.....	229
VI. RECOMENDACIONES	232
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	234
ANEXOS.....	238

ÁREA : Hidráulica.

TEMA : Plantas de tratamiento de aguas residuales.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Hidráulica y medio ambiente.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 04 de mayo del 2022.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Composición del agua residual doméstica	31
Figura 2: Flujograma de tecnologías empleadas en el tratamiento de Aguas Residuales	39
Figura 3: Esquema general de distribución de la “PTAR Laberinto”	48
Figura 4: Mapa de la región Madre de Dios	49
Figura 5: Mapa de la provincia de Tambopata	50
Figura 6: Mapa satelital de la localidad de Puerto Rosario	50
Figura 7: Registro de aforamiento de caudal viernes 01 de octubre (07:00 a.m.)	55
Figura 8: Registro de aforamiento de caudal viernes 01 de octubre (12:00 p.m.)	56
Figura 9: Registro de aforamiento de caudal viernes 01 de octubre (05:30 p.m.)	56
Figura 10: Registro de aforamiento de caudal sábado 02 de octubre (07:00 a.m.)	56
Figura 11: Registro de aforamiento de caudal sábado 02 de octubre (12:00 p.m.)	57
Figura 12: Registro de aforamiento de caudal sábado 02 de octubre (05:30 p.m.)	57
Figura 13: Registro de aforamiento de caudal domingo 03 de octubre (07:00 a.m.)	57
Figura 14: Registro de aforamiento de caudal domingo 03 de octubre (12:00 p.m.)	58
Figura 15: Registro de aforamiento de caudal domingo 03 de octubre (05:30 p.m.)	58
Figura 16: Resultados gráficos del diseño de Rejillas elaborado por el software “PTAR DISEÑO”	86
Figura 17: Canal Parshall “PTAR LABERINTO”	92
Figura 18: Resultados gráficos del diseño de Canal Parshall elaborado por el software “PTAR DISEÑO”	93
Figura 19: Desarenador “PTAR LABERINTO”	96
Figura 20: Resultados gráficos del diseño de Desarenador elaborado por el software “PTAR DISEÑO”	97
Figura 21: Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) "PTAR Laberinto"	113
Figura 22: Resultados gráficos del diseño del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) elaborado por el software "PTAR DISEÑO"	114
Figura 23: Ejemplo gráfico de Laguna Facultativa	120
Figura 24: Resultados gráficos de Laguna Facultativa elaborado por el software "PTAR DISEÑO"	121



Figura 25: Resultados gráficos del diseño de Filtro Percolador elaborado por el software "PTAR DISEÑO"	131
Figura 26: Resultados gráficos del diseño de Lodos Activados Mod. Convencional elaborado por el software "PTAR DISEÑO"	145
Figura 27: Reactivo para muestreo de la DQO (ácido sulfúrico)	166
Figura 28: Colocación de reactivo (ácido sulfúrico) para muestreo de la DQO	166
Figura 29: Transporte de muestras para ensayos microbiológicos y químicos	166
Figura 30: Muestras listas para envío a laboratorio debidamente selladas y rotuladas	167
Figura 31: Recepción de materiales en DIRESA Puerto Maldonado.....	179
Figura 32: Llenado de recipientes análisis DIRESA Puerto Maldonado	180
Figura 33: Sellado de recipientes análisis DIRESA Puerto Maldonado	180
Figura 34: Preservación de muestras análisis DIRESA Puerto Maldonado.....	180
Figura 35: Transporte de muestras a DIRESA Puerto Maldonado	181
Figura 36: Entrega de muestras al laboratorio de DIRESA Puerto Maldonado.....	181
Figura 37: Diseño del estudio estadístico	194
Figura 38: Características de las variables y distribución de datos estadísticos.....	194
Figura 39: Selección de los procesos de tratamiento de acuerdo a los rangos de eficiencias de remoción de la Norma OS.090.....	215
Figura 40: Análisis comparativo promedio de datos tratamiento preliminar	218
Figura 41: Análisis comparativo promedio de datos del reactor anaerobio de flujo ascendente	219
Figura 42: Análisis comparativo de remoción de DBO para tecnologías complementarias al RAFA	223
Figura 43: Resultados químicos de los parámetros para caracterización de agua residual de la Norma OS.090.....	225
Figura 44: Resultados de prueba de normalidad para los procesos de tratamiento de la "PTAR Laberinto" realizados por el software IBM SPSS.....	226
Figura 45: Resultados de estadísticos de contraste para los procesos de tratamiento de la "PTAR Laberinto" realizados por el software IBM SPSS.....	227



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias.....	32
Tabla 2:	Características del agua de acuerdo a la DBO	34
Tabla 3:	Tipos de agua residual según la relación de biodegradabilidad	36
Tabla 4:	Niveles y procesos de tratamiento de aguas residuales.....	37
Tabla 5:	Rendimientos (%) en las etapas de depuración de las aguas residuales	39
Tabla 6:	Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de PTAR.....	42
Tabla 7:	Vías de acceso a la localidad del distrito de Laberinto - Madre de Dios.....	51
Tabla 8:	Tasa de crecimiento del distrito de Laberinto.....	53
Tabla 9:	Cálculos de aforamiento de caudal matriz de alcantarillado en la localidad de Puerto Rosario - Laberinto.....	59
Tabla 10:	Datos de entrada requeridos por el software "PTAR DISEÑO"	63
Tabla 11:	Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Asignación del nivel de complejidad.....	65
Tabla 12:	Datos de proyección poblacional requeridos por el software "PTAR DISEÑO"	65
Tabla 13:	Aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales	67
Tabla 14:	Parámetros del coeficiente de mayoración o valoración (K) de acuerdo a la población.....	70
Tabla 15:	Datos del cálculo de caudales de diseño requeridos por el software "PTAR DISEÑO"	72
Tabla 16:	Datos de las características del agua residual requeridos por el software "PTAR DISEÑO"	74
Tabla 17:	Dimensiones del tipo de rejillas que considera el software "PTAR DISEÑO"	76
Tabla 18:	Dimensiones del espaciamiento libre entre barras que considera el software "PTAR DISEÑO"	77
Tabla 19:	Anchos de garganta (W) en función al caudal para diseño de Canaleta Parshall	88



Tabla 20:	Parámetros de los coeficientes k y n para el dimensionamiento de canaleta Parshall en función al ancho de garganta (W)	89
Tabla 21:	Valores típicos de las dimensiones de una canaleta Parshall a partir del ancho de garganta (W).....	91
Tabla 22:	Tiempo de Retención Hidráulico (TRH _{UASB}) en función a la temperatura 100	
Tabla 23:	Velocidad ascensional en función a la condición de caudal	105
Tabla 24:	Área de influencia de cada distribuidor en función al tipo de lodo y la COV	106
Tabla 25:	Estimación del poder calorífico del biogás en función al tipo de gas.....	111
Tabla 26:	Pros y Contras en el tratamiento secundario de Filtro Percolador.....	123
Tabla 27:	Tasa de Escurrimiento superficial y profundidades para sedimentadores secundarios de filtros percoladores	129
Tabla 28:	Análisis comparativo diseño Cámara de Rejas	146
Tabla 29:	Análisis comparativo diseño Desarenador	147
Tabla 30:	Análisis comparativo diseño Canal Parshall	148
Tabla 31:	Análisis comparativo diseño Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente.....	149
Tabla 32:	Análisis comparativo diseño de tecnologías complementarias al RAFA ..	152
Tabla 33:	Análisis comparativo diseño Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente – CONAGUA.....	159
Tabla 34:	Resultados microbiológicos realizados por el laboratorio "LOUIS PASTEUR"	168
Tabla 35:	Resultados químicos realizados por el laboratorio "LOUIS PASTEUR"..	168
Tabla 36:	Cálculo de aporte per-cápita para agua residual doméstica de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto	170
Tabla 37:	Selección de los procesos de tratamientos de acuerdo a la Norma OS.090	171
Tabla 38:	Resultados de parámetros del análisis Físico - Bacteriológico DIRESA ..	182
Tabla 39:	Datos de entrada para análisis de parámetros: Metales totales y físico-químico	183
Tabla 40:	Resultados de parámetros del análisis Metales Totales y Físico – Químico	184
Tabla 41:	Resultados Cualitativos – Ensayos determinación de protozoos y helmintos parásitos	185



Tabla 42: Límites permisibles Categoría 3-D1 (riego de vegetales) comparados con resultados de la DIRESA Puerto Maldonado.....	187
Tabla 43: Eficiencias de tratamiento logrado para la remoción de manganeso	191
Tabla 44: Prueba de normalidad diseño de Cámara de Rejas	197
Tabla 45: Prueba de normalidad diseño de Desarenador	198
Tabla 46: Prueba de normalidad diseño del Canal Parshall	199
Tabla 47: Prueba de normalidad diseño del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente	200
Tabla 48: Prueba de normalidad diseño del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente - Manual CONAGUA	201
Tabla 49: Estadísticos de contraste ^a diseño Cámara de rejas	205
Tabla 50: Estadísticos de contraste ^a diseño desarenador	206
Tabla 51: Estadísticos de contraste ^a diseño Canal Parshall	207
Tabla 52: Estadísticos de contraste ^a diseño RAFA	209
Tabla 53: Estadísticos de contraste ^a diseño RAFA - Manual CONAGUA	210



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- MINAM:** Ministerio del Ambiente
- ECA:** Estándares de Calidad Ambiental
- PTAR:** Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
- RAFA:** Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente
- UASB:** Upflow Anerobic Sludge Blanket
- OMS:** Organización Mundial de la Salud
- SUNASS:** Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento
- ANA:** Autoridad Nacional del Agua
- DIRESA:** Dirección Regional de Salud
- TRH:** Tiempo de Residencia Hidráulica
- LMP:** Límite Máximo Permisible
- DS:** Decreto Supremo
- DBO:** Demanda Bioquímica de Oxígeno
- DQO:** Demanda Química de Oxígeno
- TRC:** Tiempo de Retención Celular
- TRH:** Tiempo de Residencia Hidráulica
- pH:** Potencial Hidrógeno o Potencial de Hidrogeniones
- SST:** Sólidos Suspendidos Totales
- SSV:** Sólidos Suspendidos Volátiles
- IVL:** Índice Volumétrico de Lodos
- COV:** Carga Orgánica Volumétrica
- JASS:** Junta Administradora de los Servicios de Saneamiento
- INEI:** Instituto Nacional de Estadística e Informática
- CHV:** Carga Hidráulica Volumétrica



VMA: Valores Máximos Admisibles

EPS: Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento

FAO: Food and Agriculture Organization

AWWA: American Water Works Organization

RNE: Reglamento Nacional de Edificaciones

INACAL: Instituto Nacional de Calidad



RESUMEN

Los fundamentos del saneamiento de las aguas residuales en el Perú son: La protección de la salud pública y la prevención de la degradación del medio ambiente, los cuales no se cumplen ante la escasez, deficiencias en el diseño y desconocimiento en la operatividad de las PTAR en el país. Por lo expuesto, la presente investigación busca optimizar el sistema de tratamiento de aguas residuales en la región Madre de Dios, distrito de Laberinto, localidad Puerto Rosario. Aplicando, complementariamente, el tratamiento secundario de filtros percoladores, de modo que, se evalúe la remoción de la carga orgánica soluble y la opción del reúso del agua tratada. Para tal efecto, se han evaluado las condiciones actuales de la “PTAR Laberinto”. Se caracterizaron las aguas residuales domésticas de acuerdo a los parámetros del R.N.E. (Norma OS.090), esta caracterización fue realizada por el laboratorio “LOUIS PASTEUR”, acreditado por INACAL, calculando la eficiencia de la “PTAR Laberinto”, así como también, se evaluó el análisis físico-bacteriológico, químico y parasitológico del efluente, para verificar los límites máximos permisibles (LMP) y estándares de calidad ambiental (ECA). Posteriormente, se hizo un recalcu aplicando el software “PTAR DISEÑO”, evaluando el diseño y eficiencia, para finalmente, plantear la optimización. Considerando, la optimización del tratamiento secundario por métodos como filtro percolador y lodos activados, se concluye que, de acuerdo a la caracterización del agua residual, la eficiencia de remoción de DBO es del 85-90%, siendo la tecnología de filtros percoladores, la más apropiada como tratamiento secundario para la “PTAR Laberinto” de acuerdo a la Norma OS.090. El efluente de la “PTAR Laberinto” es óptimo en base a los parámetros del MINAM para uso de riego restringido y no restringido (Categoría 3-D1/ D.S. 004-2017-MINAM).

Palabras Clave: Optimización del tratamiento de aguas residuales, planta de tratamiento de aguas residuales, reactor anaerobio de flujo ascendente, filtro percolador.



ABSTRACT

The fundamentals of wastewater sanitation in Peru are: The protection of public health and the prevention of environmental degradation, which are not met due to the scarcity, deficiencies in the design and lack of knowledge in the operation of the PTAR in the country. Therefore, this research seeks to optimize the wastewater treatment system in the Madre de Dios region, Laberinto district, Puerto Rosario town. Applying, in addition, the secondary treatment of trickling filters, so that the removal of the soluble organic load and the option of reusing the treated water are evaluated. For this purpose, the current conditions of the "PTAR Laberinto" have been evaluated. Domestic wastewater was characterized according to the R.N.E. (Standard OS.090), this characterization was carried out by the laboratory "LOUIS PASTEUR", accredited by INACAL, calculating the efficiency of the "PTAR Laberinto", as well as, the physical-bacteriological, chemical and parasitological analysis of the effluent was evaluated, to verify the maximum permissible limits (LMP) and environmental quality standards (ECA). Subsequently, a recalculation was carried out applying the software "PTAR DISEÑO", evaluating the design and efficiency, to finally propose optimization. Considering, the optimization of the secondary treatment by methods such as trickling filter and activated sludge, it is concluded that, according to the characterization of the residual water, the DBO removal efficiency is 85-90%, being the trickling filter technology, the more appropriate as a secondary treatment, for the "PTAR Laberinto", according to the OS.090 Standard. The effluent from the "PTAR Laberinto" is optimal based on the MINAM parameters for restricted and unrestricted irrigation use (Category 3-D1 / D.S. 004-2017-MINAM).

Keywords: Optimization of wastewater treatment, wastewater treatment plant, upflow anaerobic reactor, trickling filter.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El tratamiento de aguas residuales es de gran importancia, dado que, luego del uso del agua, en actividades industriales, domésticas y agrícolas se altera su composición biológica. Seleccionar el proceso para el tratamiento de aguas residuales, o la combinación adecuada de ellos, depende principalmente de las características del agua cruda, la calidad requerida del efluente, la disponibilidad de terreno, los costos de construcción y operación del sistema de tratamiento y la facilidad de optimización a futuro para satisfacer los requerimientos por el crecimiento poblacional. **(González, 2016).**

En el Perú, de 253 localidades en el ámbito de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS), 89 aún no cuentan con tratamiento de aguas residuales, por lo que el agua residual cruda de estas localidades se vierte directamente a los mares, ríos, pampas o drenes.

En 164 localidades restantes, todas o parte de las aguas residuales vertidas al alcantarillado son conducidas hacia una planta de tratamiento de aguas residuales.

Las PTAR se diseñan de acuerdo con la disposición final que se dé al efluente. Para lograr el cumplimiento de los límites máximos permisibles (LMP) para el vertimiento a un cuerpo natural, los aspectos principales que se toman en cuenta son:

- La remoción de la contaminación orgánica (DBO y DQO).
- La remoción de coliformes termotolerantes.

Si se cumplen estos parámetros, se puede esperar también el cumplimiento de los otros LMP. **(SUNASS, 2015).**



La problemática del Tratamiento de Aguas Residuales es un tema que es extendido en América Latina, cuyos efectos comprenden a la contaminación del agua y la salud pública, dado que más del 80% de la población se encuentra en zonas urbanas y el 70% de las aguas residuales no tiene tratamiento alguno. **(Meoño, Taranco, & Olivares, 2016).**

En el Perú, más de un tercio de la población no cuenta con la cobertura de saneamiento, por lo que, se pone en riesgo a esta población por falta de políticas y gestión del Tratamiento de Agua Potable Residual.

Solo un 4.9 % de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas se encuentran operativas en nivel óptimo, lo cual revela una falta de supervisión y monitoreo de dichas plantas. **(Meoño, Taranco, & Olivares, 2016).**

En el Perú, únicamente se ha ejecutado, en tratamiento de agua, el 30% de la inversión pública de acuerdo al Plan Nacional de Saneamiento Urbano y Rural 2006-2015.

Algunas propuestas para mejorar la situación actual de las PTAR son las siguientes:

- Establecer la concordancia de los límites máximos permisibles (LMP) de vertimiento con la tecnología apropiada para las PTAR.
- Implementar un sistema de supervisión y fiscalización de los efluentes de las PTAR.
- Financiamiento de la operación y mantenimiento de las PTAR.

Se concluye que, no existe una política del sector para complementar y rehabilitar las PTAR inoperativas e implementar procesos de tratamiento adicionales que se necesitan para cumplir la normatividad.



Los criterios de priorización y elegibilidad para asignar recursos a proyectos de inversión en el sector saneamiento no favorecen a la rehabilitación de las PTAR.

En el distrito de Laberinto, localidad Puerto Rosario, se encuentra la “PTAR Laberinto”, la cual cuenta con un tratamiento preliminar de: Cámara de rejillas, desarenador y canal Parshall. Se tiene como tratamiento primario un reactor UASB, que, de acuerdo a la memoria de cálculo del expediente técnico, posee una carga orgánica de ingreso de 193 mg/L y una carga orgánica de salida de 48.23 mg/L con una eficiencia de remoción del sistema de 75%.

Para el tratamiento secundario, la “PTAR Laberinto” posee un filtro biológico, con una DBO requerida para el efluente de 60 mg/L y una eficiencia de remoción de DBO₅ en el tratamiento primario de 60%.

Tal como se indica en el estudio realizado por la SUNASS, los principales factores que se toman en cuenta para el diseño de una PTAR, son: La remoción de la contaminación orgánica (DBO y DQO) y la remoción de coliformes termotolerantes.

Es por ello que, de acuerdo a estos parámetros, esta investigación se basa en optimizar estos porcentajes de remoción aplicando nuevas tecnologías de tratamiento que se adapten a las características y condiciones de la “PTAR Laberinto”, evaluando su eficiencia de remoción de carga orgánica soluble, la cual es de: 85-90% para la DBO y 55-60% para sólidos totales en suspensión.

También se evaluarán estas nuevas tecnologías priorizando la sostenibilidad técnico-económica para la localidad de Puerto Rosario, asimismo valorar un efluente con nuevos procesos de tratamiento que cumplan con los Límites Máximos Permisibles (LMP) y Estándares de Calidad Ambiental (ECA), establecidos por el MINAM.

Todo esto con el fin de mejorar las condiciones de calidad y sostenibilidad de la “PTAR Laberinto” y localidad de Puerto Rosario.



1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema General

- ¿Cómo se optimiza la “PTAR Laberinto”, complementando el tratamiento primario (RAFA), con un tratamiento secundario de filtro percolador, en la localidad de Puerto Rosario – Laberinto para el año 2021?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo se evalúan las condiciones actuales de construcción y operatividad de la “PTAR Laberinto”?
- ¿Cuál es la eficiencia del software “PTAR DISEÑO”, para verificar y evaluar el buen funcionamiento de la “PTAR Laberinto”?
- ¿Qué tratamiento secundario complementario al RAFA, optimiza mejor la remoción de carga orgánica soluble de la “PTAR Laberinto”?
- ¿En qué condiciones se encuentra actualmente el agua residual doméstica de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto?

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Hoy en día, la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales ya es una necesidad vital de acuerdo a los niveles de contaminación que se tiene, por lo que, un mal diseño que no contemple los parámetros establecidos por el MINAM, que no cuente con una buena optimización en diseño, procesos de tratamiento, mantenimiento y costos no garantiza el aprovechamiento correcto de estos proyectos, ya que su ejecución es muy baja.

El 80% de la población latinoamericana vive en ciudades y una gran proporción en asentamientos próximos a fuentes contaminadas, siendo América Latina una de las regiones más biodiversas del mundo y dueña de un tercio de las fuentes de agua del



mundo, la contaminación del agua representa consecuencias ecológicas adversas. **(Yee-Batista, 2013).**

El 70% de las aguas residuales en el Perú no tienen tratamiento de aguas alguno; asimismo, que de las 143 plantas de tratamiento residual que existen en el Perú, solo el 14% cumplen con la normatividad vigente para el cabal funcionamiento de las mismas; de acuerdo al Plan Nacional de Saneamiento 2006- 2015, existe un déficit de 948 millones de dólares americanos, la inversión ejecutada hasta el 2005 por las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS) alcanzó el importe de 369 millones de dólares americanos. **(SUNASS, 2008).**

De acuerdo a un estudio sobre la situación actual y perspectivas en el sector agua y saneamiento en el Perú, presentado por la Autoridad Nacional de Agua (ANA), 7 millones de habitantes de nuestro país no tienen acceso a agua potable segura; el nivel de cobertura de agua potable en un nivel mayor al 80%, es solo en los Departamentos (hoy Gobiernos Regionales) de: Lambayeque, Lima, Callao, Ica, Arequipa y Tacna; la cobertura en menor al 40% en Amazonas, Huánuco, Huancavelica y Puno; el agua no facturada es de aproximadamente el 40%; más de 10 millones de habitantes no tiene servicios de saneamiento; la cobertura de saneamiento mayor al 80% es solo en Lambayeque, Lima y Tacna, la cobertura de saneamiento del 20% al 40% es en Loreto, Ucayali y Madre de Dios. **(ANA, 2013).**

La incidencia de las enfermedades diarreicas agudas y de la piel desde el año 1999 en líneas generales ha tenido un comportamiento ascendente, en el año 2005 se registró 8376 casos, se elevó en el año 2007 alcanzando los 10557 casos y en el año 2010 ascendió numerablemente por estudios realizados por la DIRESA de Madre de Dios. **(DIRESA Madre de Dios, 2010).**



Es por ello que, cumplir con los requisitos óptimos para el tratamiento del agua y el buen diseño de las plantas de tratamiento de aguas residuales asegurará el correcto funcionamiento de las mismas y el aprovechamiento al máximo para los beneficiarios.

La población de Puerto Rosario de Laberinto no contaba con un adecuado sistema de agua potable y alcantarillado, ya que este sistema se encontraba en mal estado, hasta en algunos puntos estaban no aptos para el uso de la población y no contaba con el tratamiento de la misma, lo que afectaba la calidad de vida, condiciones de salud y contaminación del medio ambiente (sobre todo del río Madre de Dios).

Hasta el momento no se han realizado propuestas que puedan mejorar la mencionada situación problemática; ante ello se propone una optimización y evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), ubicada en la localidad de Puerto Rosario, distrito de Laberinto, región Madre de Dios. Además de una propuesta de mejora, con tecnologías complementarias al RAFA, con la finalidad de mejorar la infraestructura de la misma y por ende, tener un efecto positivo en el proceso de tratamiento de las aguas residuales.

Esta investigación se realiza con el propósito de evaluar las condiciones actuales de las aguas residuales domésticas en la localidad de Puerto Rosario, así como evaluar la “PTAR Laberinto” en sus procesos de tratamiento preliminar, primario y secundario, optimizando el uso del RAFA con la tecnología de filtros percoladores, demostrando su eficiencia en la remoción de carga orgánica. Finalmente se evaluará el reúso del efluente para el uso del agua para riego restringido y no restringido de acuerdo a los parámetros indicados por el MINAM.

- **Justificación teórica:** Se justifica en la misma ya que servirá como una base teórica para futuras investigaciones y diseños que deseen conocer la causalidad de las variables que son objeto de estudio. Los resultados obtenidos producto de análisis



de investigaciones realizadas, al mismo tiempo de la importancia del análisis de estos resultados, generará una solución lógica referido a la mejora de esta PTAR, dado que actualmente no se realizaron estudios referidos a esta.

- **Justificación metodológica:** La presente investigación se justifica por el aporte de nuevas metodologías que se pueden optar para el diseño de esta o futuras plantas de tratamiento de aguas residuales. Entre tanto aporta información que permitirá evidenciar la causalidad de la evaluación y diagnóstico de la PTAR.
- **Justificación técnica:** La investigación se justifica por el aporte que brindará sobre como la evaluación, diagnóstico y propuesta de optimización incide en el mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Optimizar la “PTAR Laberinto”, complementando el tratamiento primario (RAFA), con un tratamiento secundario de filtro percolador, en la localidad de Puerto Rosario – Laberinto para el año 2021.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Evaluar las condiciones actuales de construcción y operatividad de la “PTAR Laberinto”.
- Verificar la eficiencia del software “PTAR DISEÑO”, para evaluar el buen funcionamiento de la “PTAR Laberinto”.
- Determinar el tratamiento secundario complementario al RAFA, que optimiza mejor la remoción de carga orgánica soluble de la “PTAR Laberinto”.
- Determinar en qué condiciones se encuentra actualmente el agua residual doméstica de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto.



1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Hipótesis General

El sistema de tratamiento de aguas residuales por reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) en la localidad de Laberinto – Madre de Dios, optimiza la remoción de materia orgánica soluble, con un tratamiento complementario de filtro percolador.

1.5.2. Hipótesis Específicas

- Los tratamientos secundarios complementarios, optimizan la remoción de materia orgánica soluble (DBO y DQO) de la “PTAR Laberinto”.
- Los filtros percoladores son el tratamiento secundario más apropiado para la “PTAR Laberinto”, según la eficiencia del porcentaje de remoción de DBO y sólidos totales suspendidos que se aplica en la Norma OS.090.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

- Chávez-Ortiz, J., Rascón, J., & Puicon, A. E. (2017) estudiaron “Los parámetros microbiológicos (bacteriológicos), tales como coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF), *Escherichia coli* (EC), y enterococos fecales (EF), en el agua del río Ventilla a su paso por la zona con mayor actividad ganadera, que además cuenta con la presencia de una laguna de oxidación para el tratamiento de aguas residuales. Se establecieron tres puntos de muestreo, realizando tres repeticiones del análisis del agua en cada punto. Los resultados arrojaron la presencia de grandes concentraciones de estas bacterias en el agua, provocadas por la descarga de las aguas residuales de la laguna de oxidación de dicha localidad, el pastoreo y el consecuente vertido de desechos fecales del propio ganado vacuno en las riberas del río, a lo largo de las tres estaciones de muestreo”.
- Prada Guadalupe, A. (2005) determinó “Los parámetros que permitieron evaluar la eficiencia del tratamiento y remoción bacteriana en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Soritor. Los resultados muestran lo siguiente: La PTAR carece de estructuras básicas para el buen funcionamiento, la concentración de bacterias coliformes fecales promedio del efluente ($5,4E+04$ NMP/100 ml) supera los límites máximos permisibles según la Ley General de Aguas. y sus reglamentos. Así mismo, la eficiencia global promedio del tratamiento (99,9168 %) es relativamente baja. La concentración de coliformes fecales promedio en el cuerpo de agua receptor antes de la descarga de los efluentes de la PTAR tiene una concentración ($2,2E+05$ NMP/100 ml) más alta con respecto a tales efluentes, por lo que el objetivo de disminuir la concentración de coliformes fecales de los efluentes por este ecosistema ya no es posible por dilución. Se determinó la constante de mortalidad bacteriana (0,44 1/d) para usarla como parámetro



de diseño y optimización de la PTAR de Soritor y futuras lagunas en la región, realizando pruebas en equilibrio discontinuo, regidas por la Ley de Chick, en una de las lagunas primarias facultativas. También se determinaron los factores de dispersión hidráulica para las lagunas primarias y secundarias (1,3 l/d y 0,98 l/d respectivamente) en función a la geometría de las lagunas, siguiendo las relaciones de primer orden y el modelo matemático desarrollado por Yáñez (1983). Sobre la base de lo evaluado y determinado finalmente se elaboró una propuesta técnica de mejoramiento y optimización de la PTAR, formulada en base al cumplimiento de la Norma OS.090: “Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales” del Reglamento Nacional de Edificaciones y la Ley N° 17752 General de aguas y sus reglamentos”.

▪ Manotupa Dueñas, L. F., & Muriel Ortiz, J. G. (2018) plantearon “El desarrollo de una guía para controlar los riesgos y/o variabilidad en la fase de diseño de proyectos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Se realizó una guía para la correcta selección de tecnología de tratamiento de los proyectos de Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) sostenibles en lugares de expansión o crecimiento urbano y/o con una población menores a 5000 habitantes. Además, estandarizar los procedimientos iniciales de la fase de diseño para seleccionar la tecnología de tratamiento, para que los ingenieros, planificadores y otros profesionales especialistas adopten este enfoque sistemático. Esta guía permitirá el análisis, razonamiento y entendimiento de los procesos para facilitar la elección de una tecnología adecuada que permita cumplir la normatividad vigente O.S. 090 de plantas de tratamiento de aguas residuales en el Perú”.

▪ Avila Calderón, S. L. (2016) determinó “La caracterización físico-químico del agua que precede del efluente final de la planta de tratamiento de agua residual de El Cortijo, Trujillo, Perú, durante los meses de abril a septiembre del presente año. Para determinar la calidad físico-químico del agua residual, se basó en las normas establecidas por el



Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM que establece la Aprobación de los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. Los parámetros evaluados fueron demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), pH y conductividad, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales y temperatura; según el análisis de varianza (ANAVA), la variación no fue significativa durante los seis meses de evaluación. Sin embargo, los resultados del promedio de sólidos sedimentables excede a lo dispuesto por el D.S N°003-2010-MINAM, siendo 203.1 g/L, por ende, se demuestra que el agua emitida por la planta de tratamiento de aguas residuales “El Cortijo” presentó un elevado contenido de sólidos suspendidos, siendo no apta para ser vertida al cuerpo receptor, ya que su abundancia contribuye a la formación de lodos”.

▪ Allende Limo, G. A., & Mendoza Zuloeta, A. A. (2019) realizaron “El proyecto de diseño de una planta de tratamiento de las aguas residuales domesticas del distrito de Lambayeque con el uso de un reactor UASB. En el Capítulo III, realizó una descripción del sistema que se propone, haciendo hincapié de las ventajas del uso de un reactor UASB. Se describe los tipos y se establece las características de las aguas residuales domésticas. En el Capítulo IV, desarrolló el estudio de ingeniería del proyecto. Primero se establece la ubicación detallada del proyecto, luego se establece la capacidad proyectada de agua potable y de aguas residuales del distrito de Lambayeque.

El caudal de aguas residuales para el 2030 en el distrito de Lambayeque será de 134.81 m³/h. Se define con razones técnicas que el mejor sistema de post- tratamiento, después del UASB sería un filtro percolador. Se elabora el diagrama de flujo y se describe en detalle el proceso global que se va a utilizar y en base a que parámetros de diseño se dimensiona los equipos principales que se van a utilizar. En el Capítulo V estableció algunas consideraciones ambientales. Se concluye que la instalación de la planta de



tratamiento de aguas residuales producirá como residuo principal lodos primarios y secundarios. Se cuantificó la cantidad de lodos y se establece la forma que se debe tratar estos lodos para su disposición o uso final. Finalmente, en el Capítulo VI se realizó el estudio financiero. Se establece que la inversión necesaria ascenderá a 4.26 millones de dólares. Se concluyó que el proyecto de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lambayeque es factible técnica y económicamente”.

▪ Macías Ospina, A. L. (2020) evaluó “El proceso de arranque de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de los municipios de San Roque, San Carlos y el corregimiento de Santiago del municipio de Santo Domingo. Las actividades de arranque de las PTAR incluyeron: un diagnóstico inicial, mediciones in-situ tales como: caudal, pH, alcalinidad y análisis de laboratorio mediante campañas de monitoreo en cada PTAR. Dentro de los problemas encontrados, se evidenció que las plantas de tratamiento de estudio no cuentan con un diseño adecuado de los múltiples de distribución a la entrada de las unidades de tratamiento (sedimentador primario en San Carlos y reactores anaerobios en San Roque y Santiago), se hizo un análisis del diseño actual empleando el método de Hudson el cual es comúnmente usado en las plantas de agua potable y un pre-dimensionamiento con consideraciones para agua residual, el cual arrojó que a menor número de orificios y mayor diámetro de tubería se da una distribución uniforme del caudal y menor pérdida de carga”.

▪ Chuchón Martínez, S. A., & Aybar Escobar, C. A. (2008) determinaron “La capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales (BCF) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) “La Totorá” de la ciudad de Ayacucho. Los análisis se realizaron en el laboratorio de Microbiología de la misma planta; donde se analizaron 70 muestras de agua. Para la cuantificación de la población de BCF, se aplicó la técnica de Tubos Múltiples de Fermentación (NMP); y el



método respiro métrico para determinar la DBO_5 . Con los resultados obtenidos, se calculó el porcentaje de remoción de BCF y DBO_5 aplicando la siguiente fórmula: % Remoción = $[(C_{AFLUENTE} - C_{EFLUENTE}) / C_{AFLUENTE}] \times 100$. La capacidad de remoción de BCF de la PTAR “La Tatora” fue del 99.9850%, evacuando efluentes con una cantidad en promedio de 1.29×10^5 NMP/100 ml, siendo deficiente, pues para alcanzar una cantidad promedio de < 103 NMP/100 ml de BCF (agua de clase III, Ley General de Aguas D.L. 17752) se requiere que la PTAR tenga una capacidad de remoción del orden del 99.9999%; en tanto que la remoción de la DBO_5 fue de 86.2%, evacuando efluentes con 46.35 mg/l, proceso deficiente en relación a lo estipulado por la Ley General de Aguas D.L. 17752 para aguas de clase III, que establece una concentración máxima de 15 mg/l que para alcanzar esta concentración sería necesario una remoción del orden del 95.5947 %”.

2.2. AGUA RESIDUAL

Las aguas residuales se definen como aguas servidas producidas por el uso doméstico o industrial del agua. También se les conoce como aguas negras o cloacales. Algunos autores distinguen entre aguas servidas y residuales porque las primeras provienen únicamente de aguas domésticas, mientras que las segundas corresponden a una mezcla de aguas domésticas e industriales. **(CEPIS, 2005)**.

Desde la perspectiva de una fuente de producción, podemos definir el agua residual como la combinación de desechos líquidos o aguas portadoras de desechos de instituciones residenciales, públicas, establecimientos industriales y comerciales, que en última instancia pueden agregar aguas subterráneas, superficiales y pluviales. **(Metcalf & Eddy, 1998)**.

El agua residual es el agua de los hogares, oficinas y edificios comerciales, ya utilizada para abastecer a la población, formada a partir de agua doméstica que contiene heces, orina y otros desechos; todos los cuales son más o menos lavados y drenados por



los servicios públicos. El agua de lluvia que ingresa a los embalses naturales se diluye. **(Romero, 2001).**

2.3. COMPOSICIÓN DE LOS CAUDALES DE AGUAS RESIDUALES

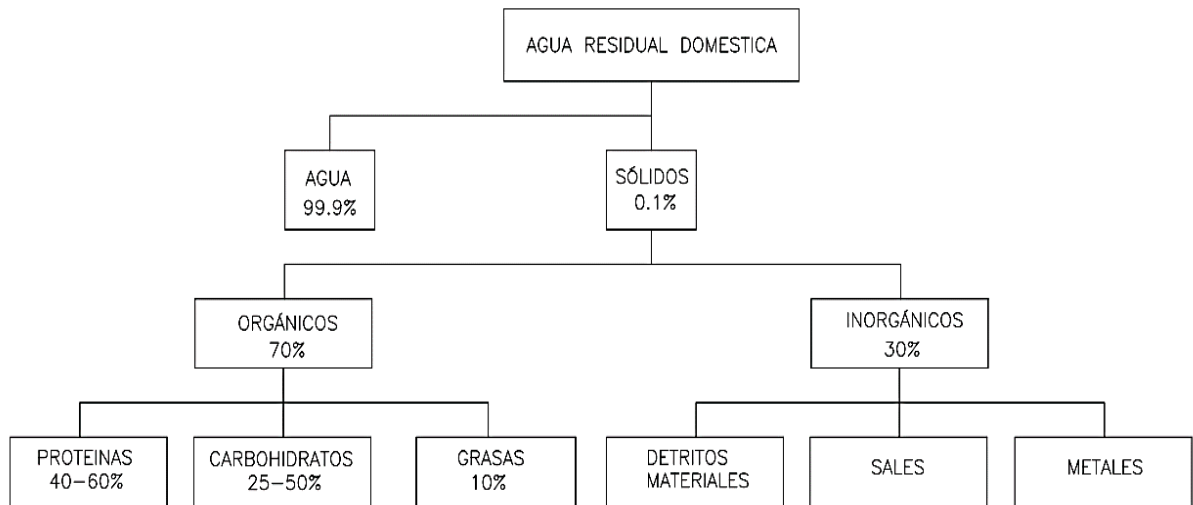
La naturaleza de los caudales de las aguas residuales en una sociedad depende del tipo de fuente de donde provienen, así como del sistema de recolección utilizado. Según el tipo de fuente que las produce, las aguas residuales se pueden dividir en:

- 1. Aguas residuales domésticas (o sanitarias).** Proveniente de zonas habitacionales o residenciales, comercios e instalaciones para uso público.
- 2. Aguas residuales industriales.** Agua residual en la cual priman vertidos industriales.
- 3. Infiltración y aportaciones incontroladas (II).** Agua que entra tanto de manera directa como indirecta en la red de alcantarillado. Esta infiltración hace referencia al agua que penetra al sistema a través de juntas defectuosas en el alcantarillado, grietas o fracturas. Las aportaciones no controladas corresponden a aguas pluviales que se descargan a la red por medio de alcantarillas pluviales, drenes de cimentaciones, bajantes de edificios y tapas de pozos de registro.

2.4. COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales consisten prácticamente en: agua, sólidos disueltos y sólidos en suspensión. Los sólidos son la fracción más pequeña (representan menos del 0.1 % en peso del agua residual), pero representa el mayor problema a nivel del tratamiento. El agua provee únicamente el volumen y el transporte de los sólidos disueltos y en suspensión. **(Metcalf & Eddy, 1998).**

Figura 1
Composición del agua residual doméstica



NOTA: Metcalf & Eddy (1998).

2.5. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales se caracterizan por su estructura química, física y biológica. En la Tabla 1 se presentan las principales características físicas de agua residual, así como sus primordiales constituyentes químicos y biológicos, y su procedencia. Es adecuado observar que muchos de los parámetros que aparecen en la Tabla 1 están relacionados entre ellos. Por ejemplo, una propiedad física como la temperatura afecta tanto a la actividad biológica como a la proporción de gases disueltos en el agua residual. (Metcalf & Eddy, 1998).

Tabla 1

Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias

CARACTERÍSTICAS	PROCEDENCIA
- Propiedades físicas:	
• Color	Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de materia orgánica.
• Olor	Agua residual en descomposición, residuos industriales.
• Sólidos	Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.
• Temperatura	Aguas residuales domésticas e industriales.
- Constituyentes químicos:	
Orgánicos:	
○ Carbohidratos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
○ Grasas animales, aceite y grasa	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
○ Pesticidas	Residuos agrícolas
○ Fenoles	Vertidos industriales.
○ Proteínas	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
○ Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
○ Agentes tensoactivos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
○ Compuestos orgánicos volátiles	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.

Tabla 1

Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias

○ Otros	Degradación natural de materia orgánica.
Inorgánicos:	
❖ Alcalinidad	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea.
❖ Cloruros	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea.
❖ Metales pesados	Vertidos industriales.
❖ Nitrógeno	Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas.
❖ pH	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
❖ Fósforo	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
❖ Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
❖ Azufre	Agua de suministro; aguas residuales domésticas, comerciales e industriales.
- Gases:	
➤ Sulfuro de hidrógeno	Descomposición de residuos domésticos.
➤ Metano	Descomposición de residuos domésticos.
➤ Oxígeno	Agua de suministro; infiltración de agua superficial
- Constituyentes biológicos:	
✓ Animales	Cursos de agua y plantas de tratamiento
✓ Plantas	Cursos de agua y plantas de tratamiento
✓ Protistas:	
✓ Eubacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento
✓ Archeobacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento
✓ Virus	Aguas residuales domésticas.

NOTA: *Metcalf & Eddy (1998)*

2.6. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

a) **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** El valor DBO indica la cantidad de oxígeno disuelto (mg/L) que se requiere a lo largo de un periodo definido para la degradación biológica de las sustancias orgánicas contenidas en el agua residual.

La DBO se usa para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO₂/L). Como el proceso de descomposición cambia conforme con la temperatura, este análisis se realiza en forma estándar durante cinco días a 20 °C; esto se indica como DBO₅, (cuanto mayor sea la contaminación, mayor será la DBO).

La DBO proporciona una medida sólo aproximada de la materia orgánica biodegradable presente en las aguas residuales.

Tabla 2
Características del agua de acuerdo a la DBO

TIPO DE AGUA	CANTIDAD DE DBO
Agua pura	0 – 20 mg/L
Agua levemente contaminada	20 – 100 mg/L
Agua medianamente contaminada	100 – 500 mg/L
Agua muy contaminada	500 – 3000 mg/L
Agua extremadamente contaminada	3000 – 15000 mg/L

NOTA: Portal Kenbipedia

De acuerdo a la Tabla 2, y el análisis químico realizado por el laboratorio, se obtuvo como resultado una DBO de 565.54 mg/L, por lo que se considera un tipo de agua muy contaminada para la localidad de Puerto Rosario – Laberinto.

El valor DBO₅ indica la cantidad de oxígeno que las bacterias y otros organismos vivos minúsculos consumen durante 5 días a una temperatura de 20°C en una muestra de agua para la degradación aeróbica de las sustancias contenidas en



el agua. El valor DBO es pues una medida indirecta de la suma de cada una de las sustancias orgánicas biodegradables del agua. El valor DBO indica la cantidad de oxígeno disuelto (mg/L) que se requiere durante un tiempo determinado para la degradación biológica de las sustancias orgánicas contenidas en el agua residual. Este valor es un parámetro fundamental para apreciar el nivel de carga que el agua residual representa para el medio ambiente (cauce receptor).

b) Demanda química de oxígeno (DQO): La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la proporción de sustancias propensas de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el nivel de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O₂/L). Al evaluar la materia orgánica en una muestra de aguas residuales, tanto el DBO como el DQO son de gran importancia para establecer la cantidad presente. Los residuos con elevado contenido orgánico necesitan de un tratamiento que disminuya su cantidad antes de ser descargados en aguas receptoras.

Si las instalaciones para el tratamiento de aguas no reducen el contenido orgánico de las aguas residuales antes de ingresar a las aguas naturales, los microbios que se encuentran en el agua receptora consumirán esta materia orgánica. Por lo tanto, dichos microbios además consumirán el oxígeno en el agua receptora como parte de la descomposición de desechos orgánicos. El agotamiento del oxígeno, junto con las condiciones ricas en nutrientes, se denomina eutrofización.

Cuanto mayor es la DQO, más contaminada está el agua. La DQO es una prueba que solo toma cerca de tres horas, por lo cual los resultados tienen la posibilidad de tener en mucho menor tiempo que lo que requiere una prueba de DBO.

La DQO en aguas industriales puede situarse entre 50 y 2.000 mgO₂/L, aunque puede llegar a 5.000 de acuerdo con el tipo de industria.

c) Diferencia entre DBO y DQO: La diferencia primordial entre la DBO y la DQO es que la segunda engloba la primera, e incluye más cosas. En la DBO sólo se detecta el material orgánico degradado biológicamente o que es biodegradable, mientras que en la DQO se busca la oxidación completa de la muestra, de forma que todo el material orgánico, biodegradable y no biodegradable, es químicamente oxidado. Para una muestra dada de agua, el valor de DQO siempre ha de ser mayor que el de DBO.

d) Relación entre DQO y DBO: La relación DBO/DQO es un factor importante, que sugiere la biodegradabilidad de las aguas residuales urbanas (ver Tabla 3), entendiéndose por biodegradabilidad, la característica de varias sustancias químicas de poder ser usadas como sustrato por microorganismos, que las emplean para generar energía (por respiración celular), y crear otras sustancias como aminoácidos, nuevos tejidos y nuevos organismos.

Tabla 3

Tipos de agua residual según la relación de biodegradabilidad

BIODEGRABILIDAD DEL AGUA RESIDUAL	DBO/DQO
Alta	0.4
Normal	0.2 a 0.4
Baja	0.2

NOTA: Metcalf & Eddy (1998)

2.7. NIVELES Y PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En general, en una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) ocurren operaciones, procesos físicos, químicos y biológicos. Se puede tener en cuenta que las

reacciones bioquímicas que se llevan a cabo en dichos procesos son las mismas que se realizan en la naturaleza (ríos, lagos, suelo, etc.)

Los procesos de tratamiento tienen la posibilidad de variar, ya sea por la finalidad de la planta o al tipo de agua a tratar, pero principalmente se tienen cuatro niveles de acuerdo al RNE (Norma OS. 090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales) los cuales son: preliminar, primario, secundario y terciario que están detallados en la Tabla 4. (**RNE, Norma OS. 090**).

Tabla 4

Niveles y procesos de tratamiento de aguas residuales

NIVEL	DESCRIPCIÓN	TIPO DE UNIDAD
Preliminar	Tiene como objetivo la retención de sólidos gruesos y sólidos finos con densidad mayor al agua y arenas, con el fin de facilitar el tratamiento posterior. Son usuales el empleo de canales con rejas gruesas y finas, desarenadores, y en casos especiales se emplean tamices. Estas unidades, en ocasiones obviadas en el diseño de plantas de tratamiento, son necesarias para evitar problemas por el paso de arena, basura, plásticos, etc., hacia los procesos de tratamiento propiamente dichos.	Rejas, tamices, desarenador, tanques de homogenización, trampas de grasa, medidor y repartidos de caudal
Primario	Se considera como unidad de tratamiento primario a todo sistema que permite remover material en suspensión, excepto material coloidal o sustancias disueltas presentes en el agua. Así, la remoción del tratamiento primario permite quitar entre el 60 a 70% de sólidos suspendidos totales y hasta un 30% de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) orgánica sedimentable presente en el agua residual para una PTAR.	Sedimentador, unidades con inyección de aire, tanque séptico, Imhoff y tanques de flotación, reactores UASB.

Tabla 4

Niveles y procesos de tratamiento de aguas residuales

Secundario	El fundamento del tratamiento secundario es la inclusión de procesos biológicos en los que predominan las reacciones bioquímicas, generadas por microorganismos que logran eficientes resultados en la remoción de entre el 50% y el 95% de la DBO.	Lodos activados, biodiscos, filtros percoladores, humedales, lagunas de estabilización.
Terciario	La necesidad de implementar un tratamiento terciario depende de la disposición final que se pretenda dar a las aguas residuales tratadas. El tratamiento de nivel terciario tiene como objetivo lograr fundamentalmente la remoción de nutrientes como nitrógeno y fósforo. Usualmente, la finalidad del tratamiento de nivel terciario es evitar que la descarga del agua residual, tratada previamente, ocasione la eutrofización o crecimiento generalizado de algas en lagos, lagunas o cuerpos de agua de baja circulación, ya que ello desencadena el consumo de oxígeno disuelto con los consecuentes impactos sobre la vida acuática del cuerpo de agua receptor.	Microfiltración, la coagulación y precipitación, la absorción por carbón activado, cloración, destilación, oxidación química, extracción por solvente, remoción por espuma, nitrificación – desnitrificación.

NOTA: RNE – Norma OS. 090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

En la Tabla 4, se describen y detallan los niveles de tratamiento y las unidades que se usan en cada uno de estos niveles. Sin embargo, para el diseño de una PTAR, al elegir una unidad de tratamiento, se deben considerar otros factores, como: Sostenibilidad técnico-económico, mantenimiento, financiamiento, área, remoción de materia orgánica soluble, etc.

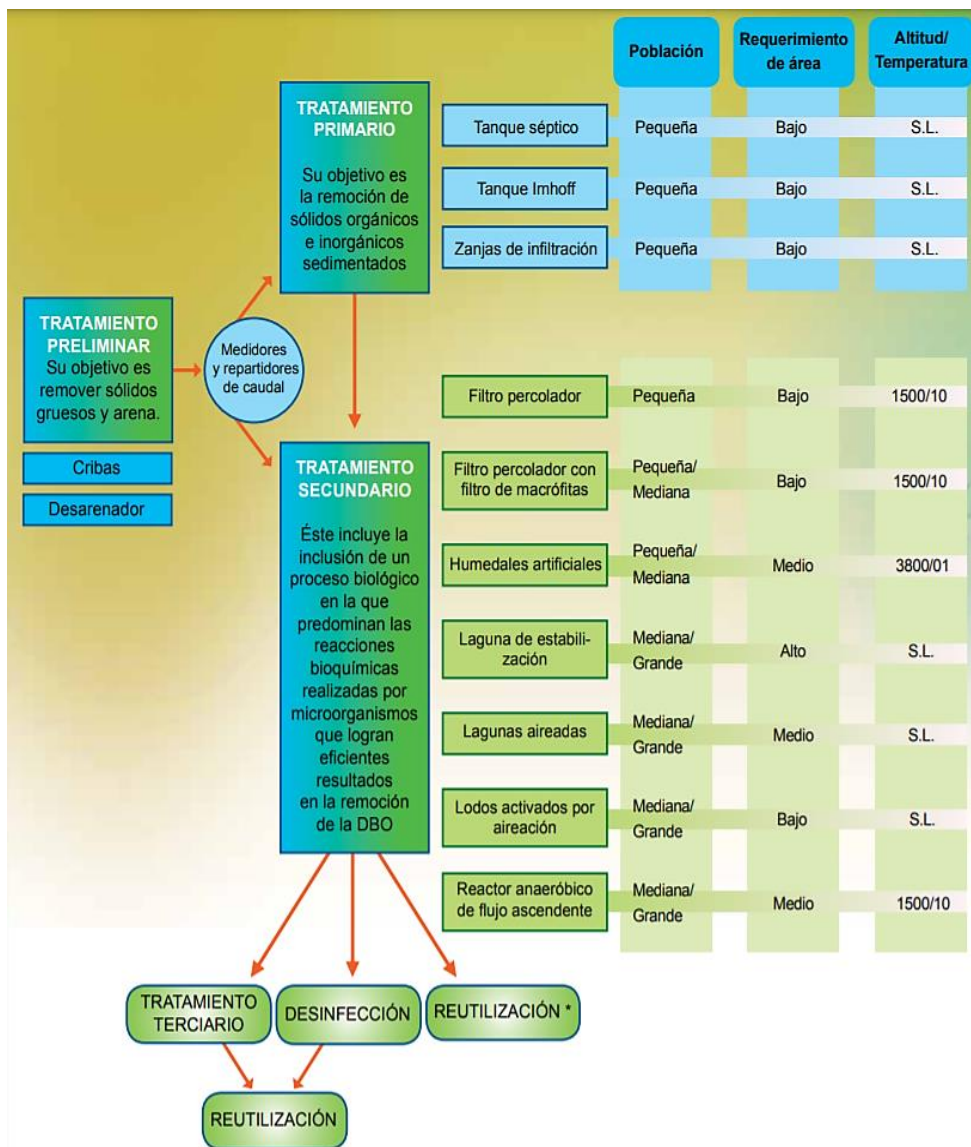
En la Tabla 5 se presentan los rendimientos medios de depuración que se alcanzan en función del tipo de tratamiento aplicado a las aguas residuales urbanas.

Tabla 5
Rendimientos (%) en las etapas de depuración de las aguas residuales

ETAPA DE DEPURACIÓN	Sólidos en suspensión	DBO	E. coli
Pretratamiento	5 - 15	5 - 10	10 - 25
Tratamientos Primarios	40 - 70	25 - 40	25 - 70
Tratamientos Secundarios	80 - 90	80 - 95	90 - 98
Tratamientos Terciarios	90 - 95	95 - 98	98 - 99

NOTA: Alianza por el Agua. Manual de depuración de aguas residuales urbanas

Figura 2
Flujograma de tecnologías empleadas en el tratamiento de Aguas



NOTA: MINAM, Tratamiento y Reúso de Aguas Residuales



2.8. LEGISLACIÓN PERUANA RELACIONADA A LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

2.8.1. Normas peruanas generales

A continuación, se mencionan algunas de las normas peruanas más significativas de acuerdo a la investigación.

- Política de Estado N°19 – Desarrollo Sostenible y Gestión Ambiental (22/07/2002).
- Decreto Supremo N° 09-95-Pres. Reglamento de la Ley General de Servicios de Saneamiento (28/08/1995).
- Decreto Supremo N°023-2005- VIVIENDA Texto Único Ordenado del Reglamento de la Ley General de Servicios de Saneamiento. Ley N° 26338 (01/12/2005) modificado por Decreto Supremo N° 010-2007- VIVIENDA (20/04/2007), Decreto Supremo N° 024-2007- VIVIENDA (24/07/2007), Decreto Supremo N° 002-2008- VIVIENDA (07/02/2008), Decreto Supremo N° 031-2008- VIVIENDA (30/11/2008) y Decreto Supremo N° 009-2009- VIVIENDA (24/04/2009).
- Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM (23/05/2009). Política Nacional de Ambiente.
- Norma Peruana OS 090. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Decreto Legislativo N° 1055. Decreto Legislativo que modifica la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente (27/06/2008).
- Decreto Supremo N°28611. Ley General del Ambiente (15/10/2005).
- Ley N° 26338. Ley General de Servicios de Saneamiento (24/07/1998). Modificada por Ley N° (22/03/2006) y Ley N° 28870 (12/08/2006).



2.8.2. Normas ambientales y sanitarias

Estas normas tienen como objetivo establecer la Política Nacional de Salud Ambiental que fortalezca la prevención y el control de riesgos sanitarios y ambientales relacionados a los daños a la salud de los ciudadanos en el marco del proceso de descentralización en salud. (MINAM, 2017).

A continuación, se mencionan las normas ambientales y sanitarias más significativas para esta investigación.

- Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM. Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua (31/07/2008).
- Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA (20/11/2009). “Aprueban los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario”.
- Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM. Aprueban disposiciones para la implementación de los ECA para el agua (19/12/2009).
- Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM “Aprueban LMP para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas o municipales (16/03/2010)”.
- Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM “Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación”.
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM “Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias”.

2.8.3. Límite Máximo Permisible (LMP)

Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio. (MINAM, 2010).

Tabla 6

Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de PTAR

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

NOTA: D.S N° 003-2010-MINAM

Se puede analizar de la Tabla 6 que, las PTAR se diseñan de acuerdo con la disposición final que se dé al efluente. Para lograr el cumplimiento de los LMP para el vertimiento a un cuerpo natural, los aspectos principales que se toman en cuenta son: La remoción de DBO₅, DQO y coliformes termotolerantes.



2.8.4. Estándares de Calidad Ambiental (ECA)

Se define al “Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos”.

De acuerdo al DS-004-2017-MINAM ESTANDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA, las categorías de los estándares de calidad ambiental para agua se clasifican en cuatro categorías, que son las siguientes:

- **Categoría 1:** Poblacional y recreacional.
 - **Subcategoría A:** Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.
 - **Subcategoría B:** Aguas superficiales destinadas para recreación.
- **Categoría 2:** Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.
- **Categoría 3:** Riego de vegetales y bebida de animales.
- **Categoría 4:** Conservación del ambiente acuático.

En el Perú, se cuenta con los ECA-Agua. Sin embargo, estos deben ser revisados a fin de eliminar las incongruencias de algunos valores de ECA-Agua con el tipo de uso.

Queda pendiente que la ANA mantenga actualizada la información de la calidad de los cuerpos naturales de agua y, en función de este estudio, deberán establecer los diferentes tipos de uso del cuerpo natural y plantear las modificaciones de los ECA-agua con valores más acordes con la realidad.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación: Aplicativo

Según **Hernández, Fernández y Baptista (2014)** la presente investigación reúne las condiciones para ser de tipo aplicativo, porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren, en este caso mediante la evaluación y análisis de los procesos de tratamiento de la “PTAR Laberinto”; en la PTAR se busca optimizar el sistema de tratamiento de aguas residuales para lo cual se conocen los estudios a realizar y variables a estudiar.

3.1.2. Diseño metodológico de la investigación: No Experimental

Según **Hernández, Fernández y Baptista (2014)** el diseño de la investigación es no experimental, puesto que, un estudio no experimental, se realiza sin la manipulación deliberada de la variable de estudio, es decir, solo se observaron los fenómenos en su ambiente natural y no se manipularon ninguna de las variables deliberadamente, es decir, las variables independientes ya han ocurrido y no pueden ser manipuladas, lo que impide influir en ellas para manipularlas como es el caso de los procesos de tratamiento, caudales a tratar, carga orgánica del afluente y efluente, etc.

3.1.3. Tiempo de estudio: Transaccionales o transversales

Según **Hernández (2010)** se considera según el tiempo de estudio transversal, porque se recolectan los datos en un solo momento. Su intención es describir o caracterizar el fenómeno, a través de las variables, en un momento dado.



3.1.4. Alcance o niveles de la investigación: Descriptivo

Según **Hernández, Fernández y Baptista (2014)** la presente investigación reúne las condiciones para ser una investigación de nivel descriptivo, puesto que esta investigación busca especificar las propiedades y/o características de los objetos y/u otro fenómeno que estuvieron en análisis, por lo tanto, la finalidad de la presente investigación fue evaluar y analizar las características de la PTAR ubicada en el distrito de Laberinto – Madre de Dios.

3.1.5. Enfoque de investigación: Cuantitativa

Según **Hernández (2010)** la presente investigación reúne las condiciones metodológicas para un tipo, según su enfoque, de investigación cuantitativa, ya que en base a cantidades y estadísticas se prueban las diferentes hipótesis propuestas para la investigación, así como también se deducen los posibles resultados de la investigación.

La investigación cuantitativa es una forma estructurada de recopilar y analizar datos obtenidos de distintas fuentes, implica el uso de herramientas informáticas, estadísticas y matemáticas para obtener resultados.

3.2. ÁMBITO DE ESTUDIO

3.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES “PTAR Laberinto”

La “PTAR Laberinto” se encuentra ubicada en la región Madre de Dios, provincia de Tambopata, distrito de Laberinto, localidad de Puerto Rosario. Se proyecta la PTAR para poder desinfectar las aguas servidas y llevarlas hacia su lugar de descarga.

El proceso comienza con una operación de pre-tratamiento de control de caudal y retención de sólidos gruesos, mediante la instalación de una cámara de rejas con un espaciamiento entre barras de 25.4 mm. A continuación, el agua proveniente de este sistema pasa por un desarenador, que tiene por objeto remover la mayor parte del material sólido inorgánico (arena, grava) con una estimación de material retenido de 0.052 m³/día. Luego, el agua pasa por un medidor de caudal Parshall, con un ancho de garganta (W) de 7.6 metros, para ser conducida al tratamiento secundario, un reactor anaerobio de flujo ascendente.

El RAFA tiene la función de separar sólidos, líquidos y gases. Así como también realizar el aprovechamiento del biogás y metano, con una altura efectiva del reactor de 5 metros, velocidad ascensional de 0.6 m/h, eficiencia de remoción de la DBO del sistema de 75%, estimación de DBO en el efluente de 48.23 mg/L, producción volumétrica de metano de 78 m³/día y 4 campanas deflectoras para la producción de biogás y metano.

Para asegurar la calidad de agua a tratar para la disposición final hacia el cuerpo receptor que es el río Madre de Dios, se instaló un Filtro Biológico, con dimensiones de 9.60m largo, 6.60m de ancho y 1.96m de profundidad. El Filtro



Biológico cuenta con una DBO requerido en el efluente de 60 mg/L, carga de DBO de 138.04 kg DBO/día y un volumen del filtro de 165.20 m³.

El tratamiento de lodos está conformado por un lecho de secados, cuya finalidad es la separación del agua, es decir, quitar físicamente los líquidos de los sólidos.

Posteriormente al tratamiento del Filtro Biológico, para facilitar la sedimentación al reducir la turbulencia y la velocidad de la corriente de aguas residuales, se realizó la construcción de un sedimentador, con las siguientes dimensiones: Ancho = 1.4 metros, longitud de la zona de sedimentación = 7.80 metros, altura = 2.2 metros y una longitud total del sedimentador de 9.0 metros.

Como componente final de la “PTAR Laberinto”, se tiene una cámara de contacto de cloro, con la finalidad de difundir el cloro en el agua residual y proporcionar el tiempo de contacto necesario para llevar a cabo la desinfección hacia el cuerpo receptor.

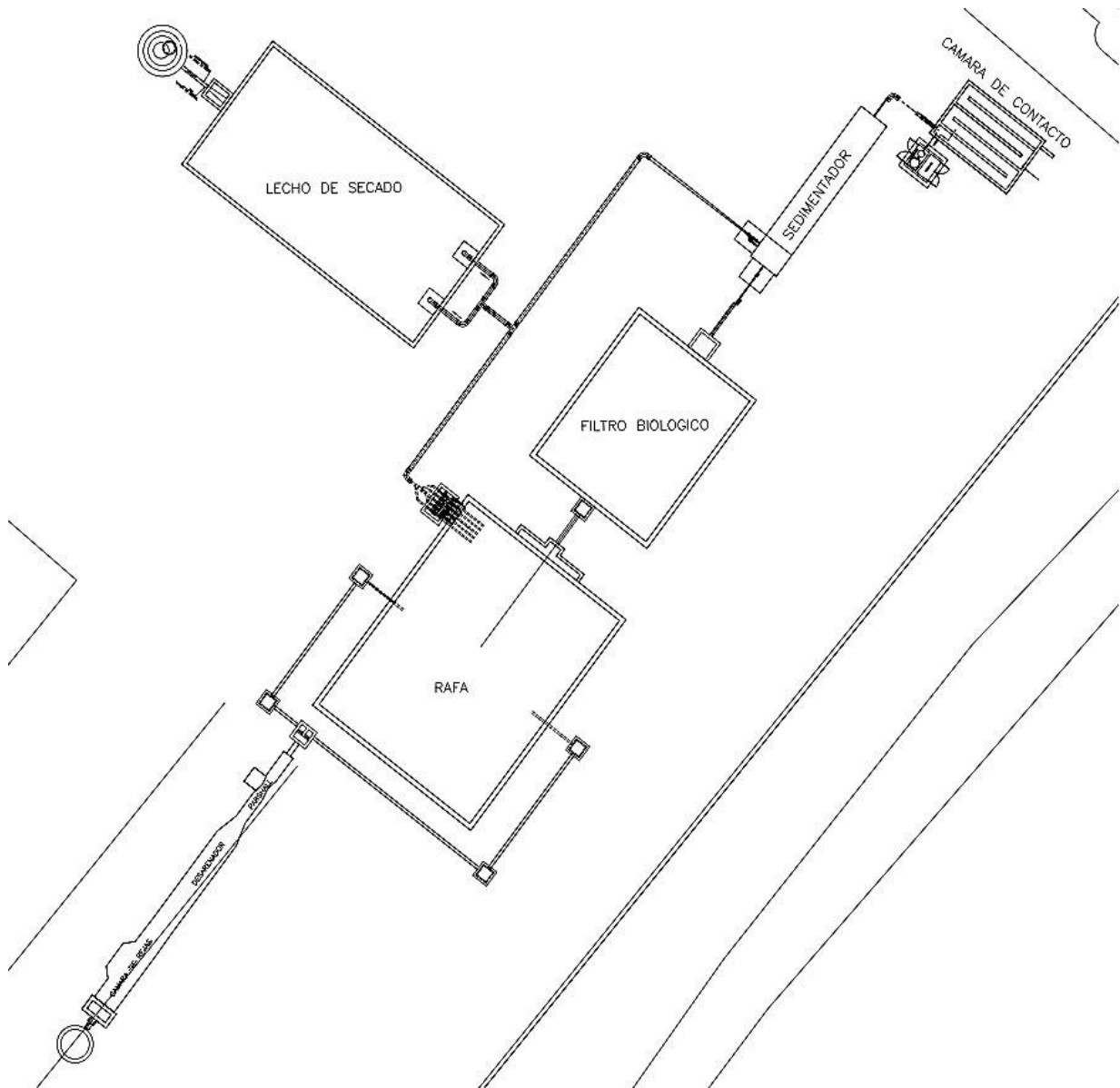
El sistema de alcantarillado en general, se compone de una línea de impulsión de 1320 metros lineales con tuberías de PVC-U NTP ISO4422 PN10 DN110 de 110 y 200 mm de diámetro.

También el sistema cuenta con dos cámaras de bombeo, con un volumen útil de la cámara CB-01 de 1.25 m³ y un volumen útil de la cámara CB-02 de 5.95 m³.

El desagüe tratado es vertido a las aguas del río Madre de Dios mediante un emisor de descarga de PVC DN250 con una longitud de 45 metros lineales.

El esquema general de distribución de la “PTAR Laberinto” se encuentra a detalle en la Figura 3.

Figura 3
Esquema general de distribución de la "PTAR Laberinto"



NOTA: Expediente técnico "PTAR Laberinto"

3.2.2. Ubicación de la Muestra

a) Ubicación Política

La “PTAR Laberinto”, se encuentra en la región Madre de Dios, provincia de Tambopata, distrito de Laberinto, localidad Puerto Rosario.

El distrito de Laberinto tiene una extensión de área total de 4582.76 km² y la localidad de Puerto Rosario se extiende desde el km 35 de la carretera Puerto Maldonado – Quince Mil, hasta el km 83, alcanzando una superficie de 2189 km².

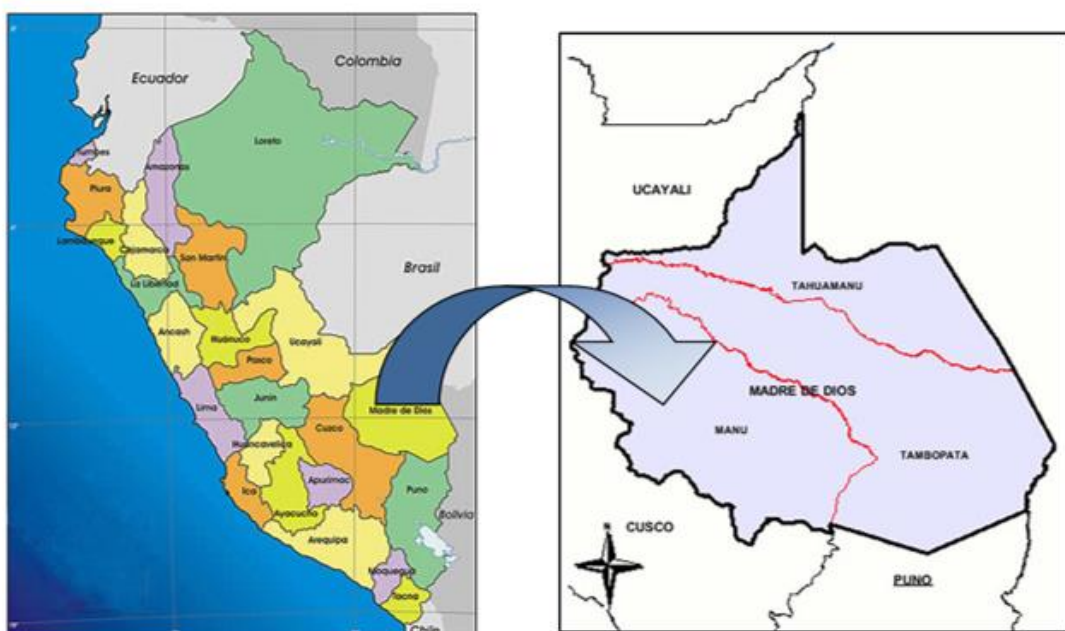
b) Ubicación geográfica

El distrito de Laberinto, es uno de los cuatro distritos que conforman la provincia de Tambopata y limita por el norte con el distrito de Tambopata, por el sur con el distrito de Inambari, por el este con el distrito de Tambopata y por el oeste con la provincia de Manu. Su ubicación geográfica de Latitud Sur es: 12°43'15.51" y Latitud Norte: 69°35'5.72", cuenta con una altitud de 197.823 m.s.n.m.

MAPA DE LA REGIÓN MADRE DE DIOS

Figura 4

Mapa de la región Madre de Dios



NOTA: Instituto Geográfico Peruano (2015). Mapa Regional Madre de Dios [Mapa]. 1:50.000. Perú: IGP
MAPA DE LA PROVINCIA DE TAMBOPATA

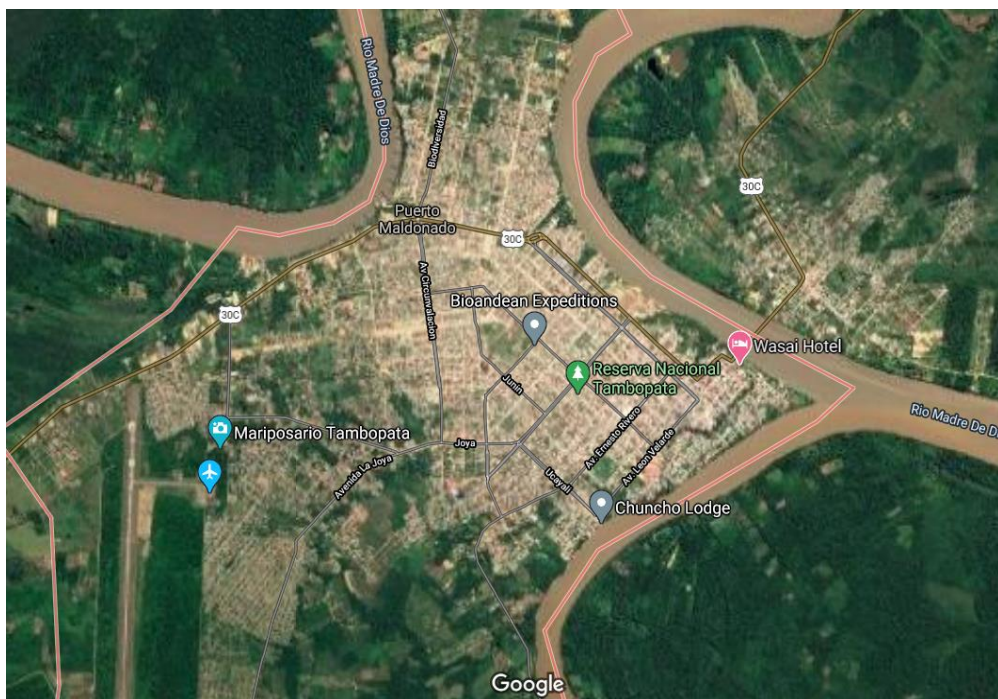
Figura 5
Mapa de la provincia de Tambopata



NOTA: Servicio Geográfico (2016). Foto N° 2.234 [Provincia Tambopata]1:25.000. Perú: SGP

MAPA SATELITAL DE LA LOCALIDAD DE PUERTO ROSARIO - LABERINTO

Figura 6
Mapa satelital de la localidad de Puerto Rosario



NOTA: Google Maps. Localidad Puerto Rosario [Mapa online] 1:30.000. Accesibilidad a la localidad del distrito de Laberinto

La principal vía de acceso al distrito de Laberinto, localidad Puerto Rosario, es la vía terrestre y se encuentra a 55 km de la ciudad de Puerto Maldonado, en el trayecto de la carretera Interoceánica tramo Puerto Maldonado – Cusco km 49.50.

La vía de acceso desde la carretera interoceánica PE 30C es una vía de 6+50 km. Hasta la localidad de Puerto Rosario de Laberinto es aproximadamente 1 hora, ya que la vía que conecta desde la interoceánica hasta Puerto Rosario está en regular estado.

Desde la ciudad de Puno las principales vías de acceso se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7

Vías de acceso a la localidad del distrito de Laberinto - Madre de Dios

Desde	A	Tipo de Vía	Medio de Transporte	Distancia (Km)	Tiempo (Hrs)	Frecuencia
Puno	Cusco	Asfaltado	Vehículo	386.3	6. 23 Hrs	Diario
Cusco	Puerto Maldonado	Asfaltado	Vehículo	477.9	9. 40 Hrs	Diario
Puerto Maldonado	Laberinto	Asfaltado	Vehículo	52.4	1.00 Hrs	Diario

NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

3.2.3. Características generales del ámbito de estudio

a. Clima

“La localidad de Puerto Rosario – Laberinto se caracteriza por tener 2 tipos de clima: el cálido húmedo y el clima semicálido muy húmedo. El cálido húmedo se caracteriza por presentar precipitaciones promedio, clima lluvioso, invierno seco, cálido húmedo estacional. El clima semicálido muy húmedo por su parte se caracteriza por presentar clima muy lluvioso con precipitaciones abundantes casi todo el año”. (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2015).



“La humedad relativa anual en verano es de 79% y en invierno es de 92%. La temperatura media anual en la localidad de Puerto Rosario – Laberinto es de 23.13° con pocas variaciones. A lo largo del año las temperaturas mínimas ocurren durante los meses de junio y julio, y las máximas ocurren durante los meses de septiembre y octubre, de acuerdo a las estaciones climatológicas.

En la zona de estudio la precipitación varía entre 105 a 300 mm³, mientras que la precipitación anual se estima en 2,567 mm³”. (**Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2015**).

b. Tasa de crecimiento

El crecimiento poblacional se refiere al incremento del número de habitantes en un espacio y tiempo determinado, el cual se puede medir a través de una fórmula aritmética. También se puede emplear como sinónimo el término crecimiento demográfico. (**Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2015**).

Para el cálculo de la población futura en el proyecto se utilizó el método aritmético, por ser el método que se ajusta para zonas rurales, utilizando la expresión:

$$Pf = Pa \times \left(1 + r \times \frac{t}{100}\right)$$

Pf = Población futura

Pa = Población actual

r = Tasa de crecimiento poblacional

t = Años

Se calculó para el proyecto la tasa de crecimiento tomando como referencia los censos poblacionales de 1993 y 2007, con estos datos se determinó la tasa de crecimiento para el proyecto. (**Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2015**).

Tabla 8
Tasa de crecimiento del distrito de Laberinto

País	Departamento	Provincia	Distrito	Tema	Descripción	Total
Perú	Madre de Dios	Tambopata	Laberinto	Demográfico	Tasa de crecimiento de la población (1993-2007)	Valor 1.45

NOTA: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)

3.2.4. Población y Muestra

- a) **Población:** La población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones. (Hernández et., 2010, p.174). Para la presente investigación, la población está constituida por el volumen de las aguas residuales de la “PTAR Laberinto”.
- b) **Muestra:** La muestra será no probabilística intencionado, es aquella que el investigador selecciona según su criterio, sin ninguna regla matemática o estadística, por lo que en sus procesos intervienen opiniones y criterios personales del investigador e investigaciones anteriores (Carrasco, 2015, p.243).

3.3. MATERIALES

Los materiales usados para cumplir con los objetivos de la investigación, fueron los siguientes: Aforamiento de caudal de la matriz de alcantarillado, uso del software “PTAR DISEÑO”, análisis microbiológico y químico del agua residual de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto y análisis del efluente de la “PTAR Laberinto”.

3.3.1. Aforo de caudal de la matriz de alcantarillado en la localidad de Puerto Rosario – Laberinto por el método volumétrico

Para realizar y evaluar un correcto diseño de la “PTAR Laberinto” y cumplir con los objetivos de la investigación, se consideró como dato fundamental la medición de caudales con los que trabaja la “PTAR Laberinto”.



Esta medición de caudal se realizó en la matriz de alcantarillado del distrito de Laberinto - Puerto Rosario. Se considera que el caudal de la matriz de alcantarillado que desemboca sus aguas residuales al río Madre de Dios, es el mismo que ingresaría a la “PTAR Laberinto” en sus días de máxima demanda de agua residual.

Se realizó el aforamiento por el método volumétrico ya que fue el más apropiado para la tubería de desagüe de la matriz de alcantarillado en cuestión de confiabilidad y comodidad, ya que se garantizó que al recipiente llegaba todo el volumen de agua a aforar.

La medición se realizó en tres días de mayor demanda de agua residual: viernes 01 de octubre, sábado 02 de octubre y domingo 03 de octubre del 2021. Se consideran estos días ya que son los días de feria y en los cuales se presenta la mayor cantidad de población en la localidad de Puerto Rosario - Laberinto.

a) **MÉTODO VOLUMÉTRICO:** El aforo volumétrico consiste en medir el tiempo que gasta el agua en llenar un recipiente de volumen conocido para lo cual, el caudal es fácilmente calculable con la siguiente ecuación:

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

Donde: Q = Caudal (lt/seg)

V = Volumen (lt)

T = Tiempo (segundos)

El método consiste en tomar el tiempo que demora en llenarse un recipiente de volumen conocido. Posteriormente, se divide el volumen en litros entre el tiempo promedio en segundos, obteniéndose el caudal en lt/seg o m³/seg.

Se toma un volumen de muestra dependiendo de la velocidad de llenado y se mide el tiempo transcurrido desde que se introduce a la corriente o vertimiento hasta que se retira de ella.

b) MATERIALES Y EQUIPO:

- Balde de 18 litros o 4.8 galones americanos
- Cronómetro
- Formato de registro de aforo de caudal

c) PROCEDIMIENTO: Se toma el balde de 18 litros y se llena el agua de la tubería de desagüe en la matriz de alcantarillado tomando el tiempo en segundos. En este caso, se realizaron cinco mediciones en la mañana, mediodía y tarde en los siguientes horarios: 7:00 a.m., 12:00 p.m. y 5:30 p.m.

d) REGISTRO DE AFORAMIENTO: Las siguientes figuras corresponden a los días en los que se realizó el aforamiento de caudal, los cuales fueron: viernes 01 de octubre, sábado 02 de octubre y domingo 03 de octubre del 2021.

Registro de aforamiento de caudal viernes 01 de octubre del 2021:

Figura 7

Registro de aforamiento de caudal viernes 01 de octubre (07:00 a.m.)



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 8

Registro de aforamiento de caudal viernes 01 de octubre (12:00 p.m.)



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 9

Registro de aforamiento de caudal viernes 01 de octubre (05:30 p.m.)



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Registro de aforamiento de caudal sábado 02 de octubre del 2021:

Figura 10

Registro de aforamiento de caudal sábado 02 de octubre (07:00 a.m.)



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 11

Registro de aforamiento de caudal sábado 02 de octubre (12:00 p.m.)



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 12

Registro de aforamiento de caudal sábado 02 de octubre (05:30 p.m.)



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Registro de aforamiento de caudal domingo 03 de octubre del 2021:

Figura 13

Registro de aforamiento de caudal domingo 03 de octubre (07:00 a.m.)



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 14

Registro de aforamiento de caudal domingo 03 de octubre (12:00 p.m.)



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 15

Registro de aforamiento de caudal domingo 03 de octubre (05:30 p.m.)



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

e) **CÁLCULOS:** Al realizarse cinco mediciones en tres horarios (mañana, mediodía y tarde), se calculó el promedio del tiempo en segundos para poder tener un resultado más preciso y realizar un análisis de caudal mínimo, medio y máximo para la matriz de alcantarillado de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto.

Los cálculos del aforamiento y registro de caudal se presentan a continuación en la Tabla 9.



Tabla 9

Cálculos de aforamiento de caudal matriz de alcantarillado en la localidad de Puerto Rosario - Laberinto

CÁLCULOS DE AFORAMIENTO DE CAUDAL MATRIZ DE ALCANTARILLADO				
Día y hora	Volumen (litros)	Tiempo (segundos)	Tiempo Promedio (segundos)	Caudal (lt/seg)
VIERNES 01 DE OCTUBRE DEL 2021				
Viernes, 01 de octubre del 2021 (07:00 a.m.)	18 litros	1.78 seg.	2.06 seg.	8.74 lt/seg
		1.89 seg.		
		2.46 seg.		
		1.72 seg.		
		2.45 seg.		
Viernes, 01 de octubre del 2021 (12:00 p.m.)	18 litros	3.30 seg.	3.42 seg.	5.26 lt/seg
		3.32 seg.		
		4.33 seg.		
		3.59 seg.		
		2.57 seg.		
Viernes, 01 de octubre del 2021 (05:30 p.m.)	18 litros	4.72 seg.	4.42 seg.	4.07 lt/seg
		4.50 seg.		
		4.58 seg.		
		4.46 seg.		
		3.85 seg.		
SÁBADO 02 DE OCTUBRE DEL 2021				
Sábado, 02 de octubre del 2021 (07:00 a.m.)	18 litros	2.36 seg.	2.22 seg.	8.11 lt/seg
		1.93 seg.		
		2.22 seg.		
		2.21 seg.		
		2.36 seg.		
Sábado. 02 de octubre del 2021 (12:00 p.m.)	18 litros	2.42 seg.	1.99 seg.	9.05 lt/seg
		1.59 seg.		
		2.15 seg.		
		2.18 seg.		
		1.65 seg.		

Tabla 9*Cálculos de aforamiento de caudal matriz de alcantarillado en la localidad de Puerto Rosario - Laberinto*

Sábado, 02 de octubre del 2021 (05:30 p.m.)	18 litros	5.30 seg.		
		6.12 seg.		
		4.88 seg.	5.59 seg.	3.22 lt/seg
		5.53 seg.		
		6.14 seg.		
DOMINGO 03 DE OCTUBRE DEL 2021				
Domingo, 03 de octubre del 2021 (07:00 a.m.)	18 litros	2.78 seg.		
		2.75 seg.		
		2.73 seg.	2.82 seg.	6.38 lt/seg
		2.93 seg.		
		2.89 seg.		
Domingo, 03 de octubre del 2021 (12:00 p.m.)	18 litros	2.33 seg.		
		3.57 seg.		
		2.56 seg.	3.21 seg.	5.61 lt/seg
		4.12 seg.		
		3.47 seg.		
Domingo, 03 de octubre del 2021 (05:30 p.m.)	18 litros	7.89 seg.		
		7.93 seg.		
		8.77 seg.	8.25 seg.	2.18 lt/seg
		7.90 seg.		
		8.72 seg.		

NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

- f) **ANÁLISIS DE RESULTADOS AFORAMIENTO DE CAUDAL:** De las cinco mediciones diarias realizadas en la matriz de alcantarillado, podemos concluir que, el caudal máximo fue el sábado 02 de octubre del 2021 (12:00 p.m.), siendo este caudal de 9.05 lt/seg y el caudal mínimo fue de 2.18 lt/seg del día domingo 03 de octubre del 2021 (05:30 p.m.).



Se puede reconocer por los cálculos realizados que, los caudales máximos fueron en las mañanas (07:00 a.m.) y mediodía, sin embargo, los caudales mínimos fueron en la tarde (05:30 p.m.).

Para un mejor análisis de resultados, es que procederemos a calcular el promedio de caudales aforados en la mañana, mediodía y tarde.

Promedio de caudales aforados en la mañana (07:00 a.m.):

$$Q_{prom-mañana} = \frac{8.74 + 8.11 + 6.38}{3} = 7.74 \text{ lt/seg}$$

Promedio de caudales aforados al mediodía (12:00 p.m.):

$$Q_{prom-medioidia} = \frac{5.26 + 9.05 + 5.61}{3} = 6.64 \text{ lt/seg}$$

Promedio de caudales aforados en la tarde (05:30 p.m.):

$$Q_{prom-tarde} = \frac{4.07 + 3.22 + 2.18}{3} = 3.16 \text{ lt/seg}$$

g) CONCLUSIONES DEL AFORAMIENTO DE CAUDAL: De las mediciones realizadas y el cálculo de los promedios de caudales aforados en la mañana, mediodía y tarde en la matriz de alcantarillado de la localidad de Puerto Rosario - Laberinto, se puede concluir que, se tienen los siguientes caudales:

Caudal mínimo = 3.16 lt/seg

Caudal medio = 6.64 lt/seg

Caudal máximo = 7.74 lt/seg

Estos caudales son representativos y nos servirán como base para realizar un análisis y evaluación de la “PTAR Laberinto”, esto con el fin de cumplir con los objetivos de la investigación.



Seguidamente, procederemos a diseñar, evaluar y analizar la “PTAR Laberinto” mediante el software “PTAR DISEÑO”, teniendo como base el aforamiento realizado para un caudal mínimo, medio y máximo.

3.3.2. Diseño de la PTAR Laberinto por el software “PTAR DISEÑO”

Para cumplir con los objetivos que se presentan en esta investigación, los cuales se enfocan en proponer y desarrollar la optimización de la “PTAR Laberinto” en todos sus niveles (principalmente el tratamiento secundario), mejorando la remoción de carga orgánica, se desarrolló un análisis mediante el software “PTAR DISEÑO” Versión 1.3 de la Universidad Santiago de Cali. Se eligió este software ya que es uno de los pocos en América Latina que nos proporciona resultados independientes en los procesos de tratamiento de la PTAR, así como sus gráficos y pre-dimensionamiento, pudiendo cambiar estos datos en el proceso de diseño para posteriormente evaluar y analizar los pro y contras en los procesos de tratamiento, así como nuevas alternativas en el diseño de la PTAR.

Este software toma como referencia algunos datos de entrada (temperatura, censos, periodo de diseño, dotación de agua, etc.), proyección poblacional, cálculo de caudales de diseño y características iniciales del agua residual.

PASO 1: INGRESO DE LOS DATOS DE ENTRADA

Los datos de entrada requeridos por el software se detallan en la Tabla 10.

Lo resaltante en este punto es que se tuvo que recurrir a la información de datos poblacionales del INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) para verificar la población del censo más antiguo (año 2007) y la población del censo más reciente (año 2017) de la localidad de Laberinto.

En el proyecto se adoptó el valor recomendado de coeficiente de retorno de agua/alcantarillado establecido en la Norma OS.070 del Reglamento Nacional de Edificaciones “Redes de Aguas Residuales” – Anexo 1 – Notación y Valores Guía Referenciales – Punto A.8 (Valores guía de coeficientes), es decir, coeficiente de retorno $R=0.8$.

De acuerdo a la Norma OS.100 del RNE (Consideraciones Básicas de Diseño de Infraestructura Sanitaria), menciona que, si se comprobara la no existencia de estudios de consumo y no se justificara su ejecución, se considerará por lo menos 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. Es por ello que, al considerarse la localidad de Puerto Rosario – Laberinto un clima templado y cálido con una temperatura promedio de 23.2°C se toma en cuenta el valor de 220 litros/habitante/día. El periodo de diseño ha sido establecido en 20 años para todos los componentes del proyecto de acuerdo al expediente técnico.

Tabla 10

Datos de entrada requeridos por el software "PTAR DISEÑO"

DATOS DE ENTRADA		
Fecha (año actual)	2020	
Temperatura media de la localidad	23.2	$^{\circ}\text{C}$
Población del censo más antiguo (Pci)	4780	hab.
Año del censo más antiguo (Tci)	2007	
Población del censo más reciente (Puc)	5250	hab.
Año del censo más reciente (Tuc)	2017	
Periodo de diseño	20	años
Coeficiente de retorno (R)	0.8	
Dotación máxima de agua potable (D)	220	L/hab*día

NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

PASO 2: INGRESO DE DATOS DE PROYECCIÓN POBLACIONAL

Para este paso el software requiere el conocimiento de la tasa de crecimiento, en el proyecto se realizó por el método aritmético por ser el que se ajusta para zonas rurales, es por ello que en el software para el cálculo de población futura elegimos el mismo método.

Hay que resaltar también que se puede generar el cálculo de la población futura por el método geométrico, pero este es más usado en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que generen un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión, las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades, lo cual no es nuestro caso ni se presta a nuestra realidad ya que la localidad de Laberinto apenas llega a una población de 5250 habitantes y está en plenas vías de desarrollo.

Según el software el método aritmético supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración.

Entonces, el software calcula un crecimiento poblacional (r) = 47

La población proyectada o futura (Pf) el software lo calcula mediante la siguiente formula:

$$Pf = Puc + \frac{Puc - Pci}{Tuc - Tci} \times (Tf - Tuc)$$

Donde: Pf = población futura proyectada por el periodo de diseño seleccionado

r = tasa de crecimiento anual

Puc = población de último año censado

Tuc = año correspondiente al último censo

Tf = año proyectado según el periodo de diseño

El nivel de complejidad según el RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico) fue seleccionado como “medio” según el software. Este parámetro se relaciona principalmente al nivel de complejidad, población en la zona urbana (habitantes) y capacidad económica de los usuarios. El detalle se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11

Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Asignación del nivel de complejidad

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	2,500	Baja
Medio	2,501 a 12,500	Baja
Medio alto	12,501 a 60,000	Media
Alto	> 60,000	Alta

NOTA: Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados –CIACUA-

Nivel de complejidad: El nivel de complejidad de un proyecto de inversión se define en función a el nivel de riesgo o incertidumbre de los resultados del proyecto y el valor o magnitud del monto estimado de la inversión del proyecto. (**Ministerio de Economía y Finanzas - Perú, 2012**).

Los datos requeridos por el software para el Paso 2 “Proyección Poblacional” se detallan en la Tabla 12. El software hizo un cálculo de una población proyectada o futura de 6331 habitantes.

Tabla 12

Datos de proyección poblacional requeridos por el software "PTAR DISEÑO"

PROYECCIÓN POBLACIONAL		
Método Aritmético		
Tasa de crecimiento poblacional (r)	47	
Población proyectada o futura (Pf)	6331	hab.

NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo



Recordar que el proyecto se elaboró en base a los datos de los censos de 1993 y 2007, en este caso el diseño se está realizando de acuerdo a los censos del 2007 y 2017. El análisis de la variación de resultados se realizará posteriormente, ya que el expediente técnico de la obra fue aprobado en el año 2016.

Se evaluará el efecto del crecimiento poblacional con los datos del censo del 2017 y cómo es que este afecta en las dimensiones y caudales en las unidades del tratamiento de aguas residuales de la PTAR Laberinto con el software.

PASO 3: CÁLCULO DE CAUDALES DE DISEÑO

Según el software, con la base de los datos previamente registrados, se calcula el caudal de aguas residuales domésticas (Q_{ARD}) y el caudal de infiltración (Q_{INF}). Las conexiones erradas (Q_{CE}), aporte industrial (Q_I), comercial (Q_C) e institucional (Q_{IN}) son opcionales por depender de las características particulares de cada proyecto que en este caso no son consideradas debido a que no existe una aportación significativa de este tipo de conexiones ya que no se tienen industrias ni comercios con un aporte significativo. El cálculo de los caudales de diseño medio, máximo y mínimo, incluirán la sumatoria de todos los aportes registrados.

El caudal de aguas residuales domésticas (Q_{ARD}), el software lo calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Q_{ard} = \frac{R * D * P_f}{86,400}$$

Donde: Q_{ARD} = caudal de aguas residuales domésticas (L/s)

R = coeficiente de retorno (adimensional)

D = demanda neta de agua potable proyectada por habitante (L/hab*d)

P_f = población futura o número de habitantes proyectados al periodo de diseño (hab)

El software hizo un cálculo de aguas residuales domésticas (Q_{ARD}) de 12.9 L/s o 607.78 m³/día.

- **Caudal de infiltración (Q_{inf}):**

Según el software, se presenta por infiltración de aguas subsuperficiales a las redes de sistemas de alcantarillado sanitario, principalmente freáticas, a través de fisuras en los colectores o juntas, en la unión de colectores con pozos de inspección y demás estructuras cuando no son completamente impermeables.

En ausencia de datos locales específicos, se puede utilizar un factor de 0.1 a 0.3 L/s*ha o entre 0.05 a 1.0 L/s por km de extensión de red y en situaciones en el que el nivel freático se encuentre por debajo del nivel de cimentación de la red el caudal de infiltración podrá excluirse del caudal de diseño (**Jordao & Pessoa, 2011, p. 41**).

En este caso el software nos da dos opciones: Extensión de la red de alcantarillado o Área del alcantarillado influenciada por infiltración.

ÁREA: El software nos pide un área determinada de la extensión de red de alcantarillado en hectáreas para lo cual, en base a los planos de la red y de acuerdo a curvas de nivel, verificando cotas y escalas, se tiene un área de “0.23208903 km² o 23.208903 ha”

APORTE POR INFILTRACIÓN: Según el software el aporte por infiltración puede ser del orden de 0.02 – 0.06 L/s*ha, variando también según el nivel de complejidad entre 0.3 y 0.1 L/s*ha como se muestra en la Tabla 13. (**Henze et al.,2002, p. 23**).

Tabla 13

Aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales

Nivel de complejidad del sistema	Infiltración alta (L/s*ha)	Infiltración media (L/s*ha)	Infiltración baja (L/s*ha)
Bajo y Medio	0.3	0.2	0.1
Medio alto y alto*	0.3	0.2	0.1

(*) Puede ser definido por la empresa prestadora del servicio

NOTA: Henze M., Harremoes P., Arvin, E. (2002)



El software al tomar todos estos parámetros hizo un cálculo de caudal de infiltración de:

$$Q_{inf} = 0.9284 \text{ L/s o } 80.210 \text{ m}^3/\text{día.}$$

- **Otros aportes (industrial, comercial o institucional):**

INDUSTRIAL: En este caso, se descartó la presencia de caudales por hectárea de área bruta industrial ya que la localidad de Laberinto es una localidad pequeña con apenas 5250 habitantes y lógicamente no existe la presencia de industrias de gran consideración.

COMERCIAL: En este aspecto, en la localidad de Laberinto no existen zonas relevantes mixtas, comerciales y residenciales es por ello que se descartó el uso de este caudal en el software.

INSTITUCIONAL: Para este caso, no se considerará el caudal institucional por el pequeño número de instituciones que se tiene actualmente en la localidad, así como el número de estudiantes es cada vez menor a la actualidad.

CAUDAL MEDIO, MÁXIMO Y MÍNIMO DIARIO:

- **Caudal Medio Diario:** Según el software la producción de aguas residuales corresponde aproximadamente al consumo de agua; por lo tanto, la fracción de aguas residuales que entra al sistema de alcantarillado puede variar por razones como: parte de agua consumida puede incorporarse a la red pluvial (ej. Riego de jardines y parques), la presencia de conexiones fraudulentas a la red de alcantarillado, infiltración y otros aportes (**von Sperling, 1996, p.55**).

Para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales el caudal medio diario, en general, corresponde a la sumatoria de la contribución percapita de agua residual (Q_{ARD}) y el caudal de infiltración ($Q_{md} = Q_{ARD} + Q_{inf}$) (**Jordao, E. & C. Pessoa, 2011, p. 43**).

Si se presentan aportes adicionales, el caudal medio diario de aguas residuales puede calcularse como la suma de los aportes domésticos (Q_{ARD}), industriales (Q_I), comerciales (Q_C) e institucionales (Q_{IN}). En el presente software se ha definido el caudal medio diario, de la siguiente manera:

$$Q_{md} = Q_{ard} + Q_{inf} + Q_{ce} + Q_i + Q_c + Q_{in}$$

Donde: Q_{MD} = caudal medio calculado para la población proyectada

Q_{ARD} = contribución de aguas residuales

Q_{inf} = caudal por infiltración a las redes de sistemas de alcantarillado sanitario

Q_{CE} = aporte por conexiones erradas

Q_I = caudal industrial

Q_C = caudal comercial

Q_{IN} = caudal institucional

Para este caso, como se mencionó anteriormente, no se consideran los aportes de caudal industrial, comercial e institucional ya que para la población de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto no son significativos, es por ello que el software hace un cálculo de un caudal medio diario de:

$$\underline{Q_{md} = 13.8249 \text{ L/s o } 1194.47 \text{ m}^3/\text{día}}$$

- **Caudal Máximo Diario:** Según el software, el consumo de agua y generación de aguas residuales en una localidad varía a lo largo del día (variaciones horarias), la semana (variaciones diarias) y al año (variaciones anuales). Por tal razón se adoptan coeficientes de variación o mayoración del caudal medio diario en función del día de mayor consumo (K_1), la hora de mayor consumo (K_2) y la hora de menor consumo (K_3) (von Sperling, 1996., p, 56).

El caudal máximo diario se emplea para el diseño de algunas estructuras como canales, tuberías, estaciones de bombeo, entre otras, y puede calcularse con la siguiente expresión (adaptado de Jordao, E. & C. Pessoa, 2011, p. 43; Henze et al., 2002. P. 26; Von Sperling, 1996, p.56):

$$Q_{max} = (Q_{ard} * K) + Q_{inf} + \text{Otros Aportes}$$

Donde: Q_{MAX} = caudal máximo diario

Q_{ARD} = contribución de aguas residuales

K = coeficiente de mayoración o variación horaria ($K_1 * K_2$)

Q_{inf} = caudal por infiltración a las redes de sistemas de alcantarillado sanitario

Otros Aportes = conexiones erradas - Q_{CE} , caudal industrial - Q_I , caudal comercial - Q_C ,
caudal institucional - Q_{IN}

COEFICIENTE DE MAYORACIÓN O VARIACIÓN HORARIA (K): El valor K corresponde a la multiplicación del coeficiente del día de mayor consumo K_1 (puede variar entre 1.2 y 1.5) y el coeficiente de la hora de mayor consumo K_2 (puede variar entre 1.3 y 1.5) (Von Sperling 1996, p.56, Jordao & Pessoa, 2011, p.44).

Los parámetros del coeficiente de mayoración o variación horaria (K), de acuerdo a la población se detallan en la Tabla 14.

Tabla 14

Parámetros del coeficiente de mayoración o valoración (K) de acuerdo a la población

POBLACIÓN	VALOR DE K
20,000 hab.	$K \leq 3.00$
20,000 – 50,000 hab.	$K \leq 2.50$
50,001 – 750,00 hab.	$K \leq 2.25$
> 750,000 hab.	$K \leq 2.00$

NOTA: Jordao & Pessoa, 2011, p.44. Tratamiento de Esgostos Domésticos

Al considerarse que en la localidad de Laberinto existe una población menor a 20,000 habitantes es que el software hace un cálculo para un valor de coeficiente de mayoración o variación horaria de: $K = 1.8$

De acuerdo a los datos que se obtuvieron de: caudal de contribución de aguas residuales (Q_{ARD}), coeficiente de mayoración o variación horaria (K), caudal por infiltración a las redes de sistemas de alcantarillado sanitario (Q_{inf}), conexiones



erradas - QCE, caudal industrial - QI, caudal comercial - QC, caudal institucional – QIN, es que el software hace un cálculo de caudal máximo diario de:

$$\underline{Q_{MAX} = 24.1421 \text{ L/s o } 2085.88 \text{ m}^3/\text{día}}$$

- **Caudal Mínimo Diario:** “Este caudal es usado para verificar el diseño de estructuras como estaciones de bombeo, el control de la velocidad en tuberías y canales, niveles de agua entre otros”. Puede calcularse de acuerdo a la siguiente expresión (**adaptado de Jordao, E. & C. Pessoa, 2011, p. 43; Von Sperling, 1996, p.56**):

$$Q_{min} = (C * K_3) + Q_{inf} + \text{Otros Aportes}$$

Donde:

C = contribución de aguas residuales

K₃ = coeficiente de horario de menor consumo

Q_{inf} = caudal por infiltración a las redes de sistemas de alcantarillado sanitario

Otros Aportes = conexiones erradas - Q_{CE}, caudal industrial - Q_I, caudal comercial - Q_C,
caudal institucional - Q_{IN}

COEFICIENTE HORARIO DE MENOR CONSUMO: El coeficiente K₃ es igual al resultado de la división de flujo mínimo por hora por el flujo promedio por hora registrada el mismo día; el estándar recomienda adoptar un valor de 0.5 (**Von Sperling, 2005**).

Vamos a adoptar el valor de coeficiente de horario de menor consumo tal como recomienda el software, o sea: K₃ = 0.5

Ya conocido el valor de K₃ = 0.5 y de acuerdo a la fórmula de caudal mínimo, el software hace el cálculo de un caudal mínimo diario de:

$$\underline{Q_{min} = 7.3767 \text{ L/s o } 637.34 \text{ m}^3/\text{día}}$$

El resumen de los datos del cálculo de caudales de diseño se detalla en la Tabla 15.

Tabla 15*Datos del cálculo de caudales de diseño requeridos por el software “PTAR DISEÑO”*

CÁLCULO DE CAUDALES DE DISEÑO		
Caudal de aguas residuales domésticas (Q_{ARD})	12.9	L/s
Área del alcantarillado influenciada por infiltración		
Área (A)	23.209	ha
Aporte por infiltración (INF)	0.04	
Q_{inf}	0.9284	L/s
	80.2104	m ³ /día
Q_{med}	13.8249	L/s
	1194.47	m ³ /día
Coefficiente de mayoración o variación horaria (K)	1.8	
$Q_{máx}$	24.1421	L/s
	2085.88	m ³ /día
Coefficiente de horario de menor consumo (K_3)	0.5	
Q_{min}	7.3767	L/s
	637.34	m ³ /día

NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

PASO 4: CARACTERÍSTICAS INICIALES DEL AGUA RESIDUAL

Para este paso se debe contar obligatoriamente con los siguientes datos del agua residual: DQO, DBO, SSV, y SST para el diseño de algunas tecnologías de tratamiento (ej. Lagunas Facultativas, Lodos Activados), sin embargo, si el usuario no dispone de dicha información el software usará por defecto el dato de la DQO en las fórmulas que requieran la DBO y asumirá los datos que han sido predeterminados en el software de acuerdo con la información bibliográfica disponible.



En este caso, el investigador realizó un ensayo microbiológico y químico del agua residual en la localidad de Puerto Rosario – Laberinto, por el laboratorio “LOUIS PASTEUR”, acreditado por el INACAL, dicho laboratorio se encuentra en la región Cusco, obteniendo todos los parámetros requeridos por el software.

TEMPERATURA: La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, debido, principalmente, a la incorporación de agua caliente doméstica. Dado que el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas registradas de las aguas residuales son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año, y sólo son menores que ella durante los meses más calurosos del verano. Dependiendo de la situación y la época del año, las temperaturas del efluente pueden situarse por encima o por debajo de las del afluente.

En este caso se considera una temperatura promedio de 25°C.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅): La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en aguas residuales domésticas varía usualmente entre 100 y 600 mg/L (Jordao, E. & Pessoa, 2011, p. 29).

En este caso, de acuerdo al análisis realizado por el laboratorio, se considera una DBO₅ de 565.54 mg/L o g/m³.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO): La demanda química de oxígeno (DQO) en aguas residuales domésticas varía usualmente entre 200 y 800 mg/L, con un valor medio de 400 mg/L (Jordao, E. & Pessoa, 2011, p. 59).

En este caso, de acuerdo al análisis realizado por el laboratorio, se considera una DQO de 800 mg/L o g/m³.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST): Los sólidos suspendidos totales (SST) en aguas residuales domésticas varían típicamente entre 120 y 360 mg/L (**Jordao, E. & Pessoa, 2011, p. 33**).

Para el software, se considera de acuerdo al análisis realizado por el laboratorio, se considera un valor de 300 mg/L.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES (SSV): Los sólidos suspendidos volátiles (SSV) en aguas residuales domésticas varían típicamente entre 90 y 280 mg/L (**Jordao, E. & Pessoa, 2011, p. 47**).

Para el software se considera, de acuerdo al análisis realizado por el laboratorio, se considera un valor de 150 mg/L.

RELACIÓN SSV/SST EN EL AFLUENTE: El software realiza un cálculo automático de la relación SSV/SST la cual es 0.5.

La Tabla 16 resume las características iniciales del agua residual.

Tabla 16

Datos de las características del agua residual requeridos por el software "PTAR DISEÑO"

CARACTERISTICAS DEL AGUA RESIDUAL		
Temperatura	25	°C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	565.54	mg/L o g/m ³
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	800	mg/L o g/m ³
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	300	mg/L
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)	150	mg/L
Relación SSV/SST en el afluente	0.5	

NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo



PASO 5: DISEÑO TRATAMIENTO PRELIMINAR - REJILLAS

El primer paso en el tratamiento del agua residual consiste en la separación de los sólidos gruesos. El procedimiento más habitual se basa en hacer pasar el agua residual bruta a través de rejillas de barras. Las rejillas de barras suelen tener aberturas libres entre barras de 15 mm o mayores. Las rejillas de barras se pueden limpiar manual o mecánicamente. (Jordao, E. & Pessoa, 2011, p. 172).

Según el software el dimensionamiento de las rejillas debe realizarse en función del caudal máximo, en este caso el software nos da de referencia los dos caudales (medio y máximo), anteriormente calculados, pero en m^3/seg :

$$Q_{MAX} = 2085.88 \text{ m}^3/\text{día} \text{ o } 0.0242 \text{ m}^3/\text{seg} \quad Q_{MED} = 1194.47 \text{ m}^3/\text{día} \text{ o } 0.0139 \text{ m}^3/\text{seg}$$

También se debe tener en cuenta la profundidad de la lámina de agua determinada por las unidades del conducto o tuberías afluente, para este caso se tuvieron que verificar los planos en el diseño de este tratamiento preliminar y la altura de lámina se adoptó en caso llegue al buzón de la planta de tratamiento un caudal máximo que vendría a ser aproximadamente de 0.05 m, ya que la altura de estas láminas se caracteriza por ser muy delgadas, dato que se ingresó en el software.

$$\text{Profundidad de la lámina de agua } h = 0.05 \text{ m}$$

SELECCIONAR EL TIPO DE REJILLA: El software considera tres tipos de rejilla, las cuales son: rejillas gruesas, medias y finas, de acuerdo a la sección transversal típica de la barra haciendo la comparación en pulgadas y en milímetros.

Es importante resaltar el buen dimensionamiento de estas rejillas ya que su propósito fundamental de estos dispositivos de cribado, es proteger a las bombas y otros equipos electromecánicos y prevenir el atascamiento de válvulas. Por este motivo la primera operación que se lleva a cabo en el influente de agua residual es el cribado. El detalle de las dimensiones de rejillas que considera el software se especifican en la Tabla 17.

Tabla 17*Dimensiones del tipo de rejillas que considera el software "PTAR DISEÑO"*

TIPO DE REJILLA	SECCION TRANSVERSAL TÍPICA DE BARRA	
	PULGADAS	MILÍMETROS
GRUESA	3/8 x 2	9.5 x 50.0
	3/8 x 2 ½	9.5 x 63.5
	½ x 1 ½	12.7 x 38.1
	½ x 2	12.7 x 50.0
MEDIA	5/26 x 2	7.9 x 50.0
	3/8 x 1 ½	9.5 x 38.1
	3/8 x 2	9.5 x 50.0
FINAS	¼ x 1 ½	6.4 x 38.1
	5/16 x 1 ½	7.9 x 38.1
	3/8 x 1 ½	9.5 x 38.1

NOTA: Azevedo Netto y Hess (1970)

Para este caso, consideramos el diámetro comercial más cercano al plano estructural y que esté dentro del cuadro de dimensiones del tipo de rejillas que nos otorga el software, el cual será:

Tipo de rejilla = Finas de ¼ x 1 ½" o 6.4 x 38.1 mm

ESPESOR DE LA BARRA (t): Aunque existen diferentes formas de sección transversal de las barras, la más usada es la rectangular (**Mendoca, 2000, p. 168**).

La dimensión mostrada en la Tabla 17 "Dimensiones del tipo de rejillas que considera el software PTAR DISEÑO", corresponde al espesor de la barra (t), y la dimensión mayor está en función de la estabilidad de la estructura metálica y no tiene influencia significativa en el desempeño de la unidad (**Jordao & Pessoa, 2011, p. 155**).

En este caso el espesor de la barra elegido en el software es:

$$\text{Espesor de la barra (t) = } \frac{1}{4}'' \text{ o } 6.4 \text{ mm}$$

ESPACIAMIENTO LIBRE ENTRE BARRAS (a): En las plantas de tratamiento de aguas residuales se usan comúnmente rejillas medias con espacios entre barras por lo general de 1" (25mm) (Mendoza, 2000, p. 168). El espaciamiento entre barras está en función de los sólidos gruesos que se pretenden remover, recientemente se ha comprobado la importancia de remover sólidos de menor tamaño en el tratamiento preliminar, existiendo la tendencia a usar rejillas con menor espaciamiento (3-10 mm) denominadas rejillas ultra finas. (Jordao & Pessoa, 2011, p. 152).

En la Tabla 18 se muestra el espaciamiento libre entre barras (a) en pulgadas y milímetros que considera el software de acuerdo al tipo de rejillas, ya sean gruesas, medias, finas o ultra finas.

Tabla 18

Dimensiones del espaciamiento libre entre barras que considera el software "PTAR DISEÑO"

TIPO DE REJILLA	PULGADAS	MILÍMETROS
GRUESAS	Superior de 1 ½	40 – 100
MEDIAS	¾ - 1 ½	20 – 40
FINAS	3/8 - ¾	10 – 20
ULTRA FINAS	¼ - ¾	3 - 10

NOTA: Azevedo Netto & Hess (1970)

Como indica el software en plantas de tratamiento de aguas residuales se usan comúnmente rejillas con un espaciamiento entre barras de 1" o 25 mm, este espaciamiento también se encuentra dentro de la memoria de cálculo del expediente técnico, pero se consideró el espaciamiento mayor que nos propone el software el cual se aproxime más al que se usó en la memoria de cálculo, en este caso 20 mm, para un



tipo de rejillas finas de $\frac{1}{4}$ " o 6.4 mm con una estabilidad de estructura metálica de $1\frac{1}{2}$ " o 38.1 mm.

Espaciamiento libre entre barras (a) = 20 mm

INCLINACIÓN DE LAS BARRAS (θ): Esta inclinación se define con el tipo de limpieza, en este caso, de acuerdo al expediente técnico la limpieza será manual y no se deberá aceptar que el porcentaje de obstrucción supere el 60% de la superficie útil de la rejilla. Indudablemente, esta frecuencia podrá variar en función a la cantidad de material retenido en la rejilla, pudiendo aumentar o disminuir según los resultados que se obtengan durante el período de arranque de la planta. **(Mendoza, S, 2000, p. 169).**

Por lo general los operadores son responsables de depositar diariamente los residuos y recubrirlos con una pequeña capa de cal (CaCO_3) por lo menos una vez al día, y/o de agregar una capa de material disponible en el recinto. Se prevé un espesor de recubrimiento de un centímetro de cal y de unos dos a tres centímetros de relleno.

De esta manera, se evitará que el material esté expuesto al ambiente, provocando la producción de malos olores (por la descomposición de la materia orgánica) y la proliferación de insectos.

Según el software el ángulo de inclinación de las barras (θ) para los tipos de limpieza manual y mecánica, son los siguientes **(Jordao & Pessoa, 2011, p. 156):**

- Limpieza manual: $45 - 60^\circ$ con la horizontal
- Limpieza mecánica: $60 - 90^\circ$ con la horizontal
- Las rejillas ultra finas son siempre mecanizadas y tienen normalmente una inclinación de 70° .

Para este caso, se optó por considerar un ángulo de inclinación (θ) de acuerdo a las recomendaciones del software y el expediente técnico, el cual es de 60° con la horizontal y un tipo de limpieza manual. Ángulo de inclinación de las barras (θ) = 60°



VELOCIDAD DE PASO ENTRE BARRAS (V): “La velocidad de paso no debe ser muy elevada que ocasione el arrastre de materiales que deberían ser retirados; tampoco debe ser tan baja que permita la acumulación de material sedimentable. Las velocidades recomendadas para el caudal máximo son: velocidad mínima de 0.6 m/s y velocidad máxima a través de la rejilla para el caudal final debe ser igual o menor a 1.20 m/s”. (Jordao & Pessoa, 2011, p. 167).

Bajo estos parámetros se consideraron las siguientes velocidades de paso entre barras:

$$\underline{\text{Velocidad máxima (Vmax) = 0.9 m/s}}$$

$$\underline{\text{Velocidad mínima (Vmin) = 0.8 m/s}}$$

ÁREA ÚTIL ENTRE LAS BARRAS PARA EL ESCURRIMIENTO (Au): El área útil entre barras está determinada por la siguiente ecuación, en función al caudal máximo diario y velocidad máxima (Jordao & Pessoa, 2011, p. 170):

$$A_u = \frac{Q_{max}}{V_{max}}$$

Donde:

$$A_u = \text{Área útil entre barras (m}^2\text{)}$$

$$Q_{MAX} = \text{Caudal máximo diario (m}^3\text{/s)}$$

$$V_{MAX} = \text{Velocidad máxima (m/s)}$$

$$A_u = \frac{Q_{max}}{V_{max}} = \frac{0.0242}{0.9} = 0.0269 \text{ m}^2; \text{ Por lo tanto, el software hace un cálculo de } \underline{\text{Área}}$$

$$\underline{\text{Útil entre las barras para el escurrimiento (Au) = 0.0269 m}^2\text{.}}$$

EFICIENCIA (E): La eficiencia está determinada por la siguiente ecuación, en base al espaciamiento y al espesor de las barras (Jordao & Pessoa, 2011, p. 169):

$$E = \frac{a}{a + t}$$

Donde:

$$E = \text{Eficiencia (adimensional)}$$

$$a = \text{Espaciamiento libre entre barras (mm)}$$

$$t = \text{Espesor de la barra (mm)}$$

$E = \frac{a}{a+t} = \frac{20}{20+6.4} = 0.76$; Por lo tanto, el software hace un cálculo de eficiencia de
(E) = 0.76

ÁREA TOTAL DE LAS REJILLAS (INCLUIDAS LAS BARRAS) (S): El área total está determinada por la siguiente ecuación, en base al área útil entre las barras para el escurrimiento y la eficiencia anteriormente calculada (**Jordao & Pessoa, 2011, p. 170**):

$$S = \frac{Au}{E}$$

Donde: S = Área total de las rejillas (m²)
Au = Área útil entre las barras para el escurrimiento (m²)
E = Eficiencia (adimensional)

$S = \frac{Au}{E} = \frac{0.0269}{0.76} = 0.0355 \text{ m}^2$; Por lo tanto, el software hace un cálculo de área total
de las rejillas (S) = 0.0355 m².

ANCHO DE REJILLAS (b): “El ancho del canal está determinado por la siguiente ecuación, en base al área total de rejillas y profundidad de la lámina de agua determinada por las unidades de tuberías afluyente o el conducto”. (**Jordao & Pessoa, 2011, p. 192**):

$$b = \frac{S}{h}$$

Donde: b = Ancho de rejillas (m)
S = Área total de las rejillas (m²)
h = Profundidad de la lámina de agua determinada por las unidades del conducto o tuberías afluyente (m)

$b = \frac{S}{h} = \frac{0.0355}{0.05} = 0.7082 \text{ m}$; Por lo tanto, el software hace un cálculo de ancho de
rejillas (b) = 0.7082 m.

Una vez analizados y calculados estos datos, se realizará un chequeo de velocidades de paso entre barras para un ancho (b) = 0.7082 m

VELOCIDAD MÁXIMA (V_{MAX}) y VELOCIDAD MEDIA (V_{MED}): Para determinar la velocidad máxima y velocidad media se emplean las siguientes ecuaciones (**Tratamiento de esgostos, Rio de Janeiro, p. 173**):

$$V_{MAX} = \frac{Q_{MAX}}{(b \times h) \times E} = \frac{0.0242}{(0.3794 \times 0.05) \times 0.76} = 0.9 \text{ m/s}$$

$$V_{MED} = \frac{Q_{MED}}{(b \times h) \times E} = \frac{0.0139}{(0.3794 \times 0.05) \times 0.76} = 0.52 \text{ m/s}$$

Donde: V_{MAX} = Velocidad máxima (m/s)

V_{MED} = Velocidad media (m/s)

Q_{MAX} = Caudal máximo (m³/s)

Q_{MED} = Caudal medio (m³/s)

b = Ancho de rejillas (m)

h = Profundidad de la lámina de agua determinada por las unidades del conducto o tuberías afluente (m)

E = Eficiencia (adimensional)

Por lo tanto, el software hace un cálculo de una $V_{MAX} = 0.94 \text{ m/s}$; $V_{MED} = 0.53 \text{ m/s}$

LONGITUD DEL CANAL (L): La longitud del canal se obtiene al suponer movimiento uniforme para un tiempo t = 3 segundos, y está determinado por la siguiente ecuación en base al caudal máximo y área total de las rejillas (**Mendoza, S, 2000**):

$$L = \frac{Q_{MAX}}{S} \times 3 = \frac{0.0242}{0.0355} \times 3 = 2.046 \text{ m}$$

Donde: L = Longitud del canal (m)

Q_{MAX} = Caudal máximo (m³/s)

S = Área total de las rejillas (m²)

Por lo tanto, el software hace un cálculo de una longitud de canal (L) = 2.046 m

El ancho del canal afluente puede ser aumentado para satisfacer la velocidad de paso entre las barras lo que resulta en una velocidad de aproximación (V_0) en la

sección cercana a la rejilla, menor a la velocidad (V) fijada inicialmente para el proyecto (Jordao & Pessoa, 2011, p. 170).

VELOCIDAD DE APROXIMACIÓN (V₀): Esta velocidad debe ser calculada mediante la siguiente ecuación en base al caudal máximo y medio, junto con el área total de rejillas:

$$V_0 = \frac{Q_{MAX}}{S} = \frac{0.0242}{0.0355} = 0.6819 \text{ m/s (para Caudal Máx)}$$

$$V_0 = \frac{Q_{MED}}{S} = \frac{0.0139}{0.0355} = 0.3905 \text{ m/s (para Caudal Med)}$$

Donde:
V₀ = Velocidad de aproximación (m/s)
Q_{MAX} = Caudal máximo (m³/s)
Q_{MED} = Caudal medio (m³/s)
S = Área total de las rejillas (m²)

Por lo tanto, el software hace un cálculo de una V_{0-MAX} = 0.6819 m/s; V_{0-MED} = 0.3905 m/s

Se asume que la sección del tramo afluente es igual al ancho de rejilla (b) = 0.7082 m

NÚMERO DE BARRAS (Nb) y ESPACIAMIENTOS (Ne) EN LA REJILLA:

Los Números de barras (Nb) y los espaciamientos (Ne) en la rejilla están determinados por las siguientes ecuaciones, en base al ancho de las rejillas, espaciamiento libre entre barras y espesor de la barra (Jordao & Pessoa, 2011, p. 174):

$$Nb = \left[\frac{(b \times 1000) - a}{(a + t)} \right] = \left[\frac{(0.7082 \times 1000) - 20}{(20 + 6.4)} \right] = 26.87 = 27 \text{ barras}$$

$$Ne = Nb + 1 = 27 + 1 = 28 \text{ espaciamientos}$$

Donde:
Nb = Número de barras
Ne = Número de espaciamientos
b = Ancho de rejillas (m)
a = Espaciamiento libre entre barras (mm)
t = Espesor de la barra (mm)

Por lo tanto, el software hace un cálculo de 27 barras finas de 6.4 x 38.1 mm con 28 espaciamentos de 20 mm.

El espesor de la barra (t) y el espaciamiento libre entre barras (a), son datos que ya fueron calculados anteriormente, ahora analizaremos la pérdida de carga en la rejilla.

PERDIDA DE CARGA EN LA REJILLA: Para mantener el perfil hidráulico y la velocidad, se permite una obstrucción de las rejillas hasta del 50%, en unidades de limpieza manual. Los valores mínimos de pérdidas son:

- Rejilla de limpieza manual = 0.15 m
- Rejilla de limpieza mecánica = 0.10 m

Para evitar una pérdida de carga elevada en rejillas de limpieza manual, la limpieza deberá ser continua o programada. La pérdida de carga (hL), puede estimarse así (Metcalf & Eddy, 2003, p. 320-321):

$$hL = \frac{1}{c} \left(\frac{V^2 - V_0^2}{2g} \right) = \frac{1}{0.7} \left(\frac{0.9^2 - 0.6819^2}{2 \times 9.81} \right) = 0.0252 \text{ m (para rejilla limpia)}$$

$$hL = \frac{1}{c} \left(\frac{V^2 - V_0^2}{2g} \right) = \frac{1}{0.6} \left(\frac{0.9^2 - 0.6819^2}{2 \times 9.81} \right) = 0.0294 \text{ m (para rejilla sucia)}$$

$$hL = 0.0294 \text{ m (pérdida de carga en la rejilla 50% sucia)}$$

Donde:

hL = Pérdida (m)

C = Coeficiente empírico de descarga, 0.7 para rejillas limpias y 0.6 para rejillas sucias.

V = Velocidad de paso entre barras (m/s)

V₀ = Velocidad de aproximación (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

Por lo tanto, el software hace un cálculo de pérdida de carga para rejilla limpia (hL) = 0.0252 m y una pérdida de carga para rejilla 50% sucia (hL) = 0.0294 m.

Se considera sucia a un 50% sucia, ya que esta no puede llegar a un 100% sucia.

Una vez analizadas las pérdidas de carga en la rejilla, haremos una nueva evaluación de la pérdida de carga en la rejilla, esta vez realizada por la ecuación de Kirschmer.

Esta ecuación está en función a la sección transversal de la barra (formas de rejillas) y al valor de β que depende de esta sección transversal.

PÉRDIDA DE CARGA CALCULADA POR LA ECUACIÓN DE KIRSHMER:

En este caso usaremos el valor de $\beta = 2.42$ que corresponde a una sección transversal rectangular. Esta fórmula se adapta para varios tipos de secciones transversales en los que el valor de β varía, ya sea sección trapezoidal, circular, rectangular con bordes redondeados, etc. Se calcula en base a la siguiente ecuación (**Jordao & Pessoa, 2011, p. 172**):

$$hf = \beta \times \left(\frac{t}{a}\right)^{4/3} \times \text{sen}(\theta) \times \left(\frac{v^2}{2g}\right) = 2.42 \times \left(\frac{6.4}{20}\right)^{4/3} \times \text{sen}(60) \times \left(\frac{0.9^2}{2 \times 9.8}\right) = 0.019 \text{ m}$$

Donde:

hf = Pérdida de carga (m)

β = Factor que depende de la sección de las barras

a = Espaciamiento libre entre barras (mm)

t = Espesor de la barra (mm)

v = Velocidad de paso entre barras (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

θ = Inclinación de las barras (grados sexagesimales)

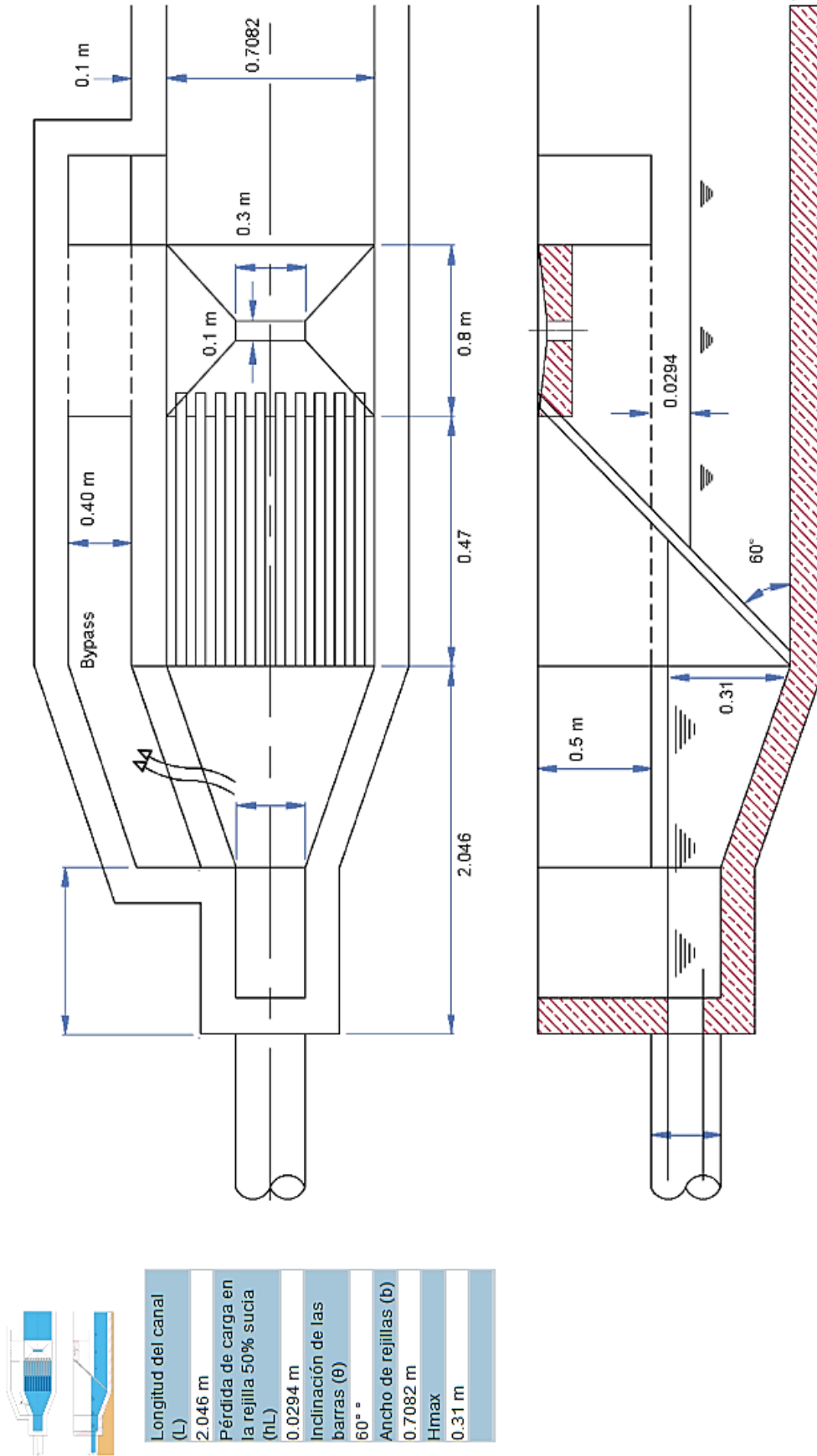
Por lo tanto, el software hace un cálculo de pérdida de carga por la ecuación de Kirshmer (hF) = 0.019 m.

El software nos muestra la imagen del diseño de Rejillas culminado, especificando los datos en una vista en planta y frontal con sus respectivas acotaciones, así también nos muestra los datos de interés que se tomaron y calcularon para el diseño, como: longitud del canal (L), pérdida de carga en la rejilla 50% sucia (hL), inclinación de las barras (θ), ancho de rejillas (b) y Hmáx.



Todos estos datos de diseño elaborados por el software están a detalle en la Figura 16.

Figura 16
Resultados gráficos del diseño de Rejillas elaborado por el software "PTAR DISEÑO"



© PTAR Diseño
Tratamiento Preliminar Rejillas
Esquema adaptado de Mendonça, 2000

NOTA: Software "PTAR DISEÑO"



PASO 6: DISEÑO TRATAMIENTO PRELIMINAR – DESARENADOR Y CANALETA PARSHALL

El desarenador es una estructura hidráulica que tiene como función remover las partículas de cierto tamaño que la captación de una fuente superficial permite pasar. Es una estructura diseñada para retener la arena que traen las aguas servidas o las aguas superficiales a fin de evitar que ingresen al proceso de tratamiento y lo obstaculicen creando serios problemas.

El canal Parshall o también llamado medidor Parshall, es una estructura hidráulica que permite medir la cantidad de agua que pasa por una sección de un canal determinado, es un medidor de régimen crítico, siendo idealizado por Ralph L. Parshall, ingeniero del servicio de irrigación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

Es un elemento primario de caudal con una amplia gama de aplicaciones para medir el caudal en canales abiertos. Puede ser usado para medir el flujo en ríos, canales de irrigación y/o de desagüe, salidas de alcantarillas, aguas residuales, vertidos de fábricas, etc.

Según el software en este paso de tratamiento preliminar, el desarenador estará constituido por dos canales paralelos. El nivel y velocidad serán constituidos por el medidor Parshall.

De acuerdo a lo calculado anteriormente, tomaremos como referencia los valores de los caudales máximo, mínimo y medio para el diseño de canaleta Parshall y desarenador.

$$Q_{MÁX} = 0.0242 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{MIN} = 0.0074 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{MED} = 0.0139 \text{ m}^3/\text{s}$$



Los rangos de funcionamiento y la geometría de este tipo de aforadores están completamente definida a través de tablas. Hay que tener en cuenta en qué rango de caudales se ubicará el flujo a medir, así como tener en cuenta qué ancho de garganta (W) debemos considerar, estos datos se ven resumidos en la Tabla 19.

Tabla 19

Anchos de garganta (W) en función al caudal para diseño de Canaleta Parshall

Ancho de Garganta (W)		Capacidad m ³ /s	
Pulgadas	cm	Q _{MIN}	Q _{MAX}
3	7.6	0.00085	0.0538
6	15.2	0.00152	0.1104
9	22.9	0.00255	0.2519
12	30.5	0.00311	0.4556
18	45.7	0.00425	0.6962
24	61.0	0.01189	0.9367
36	91.5	0.01726	1.4263
48	122.0	0.03679	1.9215
60	152.5	0.0628	2.422
72	183.0	0.0744	2.929
84	213.5	0.1154	3.440
96	244.0	0.1307	3.950

NOTA: Azevedo Netto et al (1998) citado por Mendoca (2000) p .185

Para este caso, al momento de verificar los límites de nuestros caudales máximo y mínimo podremos ubicar estos en un ancho de garganta (W) de 3 a 12 pulgadas según a la Tabla 19. Es por ello, que nos basaremos en la información del expediente técnico, el cual nos muestra un ancho de garganta (W) de 7.6 cm o 3 pulgadas, el cual es un dato que se encuentra dentro de nuestra información.

Posteriormente, analizaremos otros valores fundamentales del dimensionamiento de la canaleta Parshall como: profundidad de la lámina de agua (H) para Q_{MAX} , Q_{MED} y Q_{MIN} , coeficiente K, coeficiente n y resalto (Z). Los parámetros de estos datos, en función a nuestro ancho de garganta (W) están detallados en la Tabla 20.

COEFICIENTES “n” y “k” PARA DIMENSIONAMIENTO DE CANALETA PARSHALL

Tabla 20

Parámetros de los coeficientes k y n para el dimensionamiento de canaleta Parshall en función al ancho de garganta (W)

W		n	k	
Pulg.	m		Unidad métrica	Unidad americana
3	0.076	1.547	0.176	0.0992
6	0.152	1.580	0.381	2.06
9	0.229	1.530	0.535	3.07
12	0.305	1.522	0.690	4.00
18	0.457	1.538	1.054	6.00
24	0.610	1.550	1.426	8.00
36	0.925	1.556	2.182	12.00
48	1.220	1.578	2.435	16.00
60	1.525	1.598	3.728	20.00
72	1.830	1.595	4.515	24.00
84	2.135	1.601	5.306	28.00
96	2.440	1.606	6.101	32.00

NOTA: Azevedo Netto et al (1998) citado por Mendoca (2000) p .185

Se puede analizar que, según el tamaño de la garganta, corresponderá un valor de n y k (coeficiente de descarga), teniendo así la Tabla 20 con los valores correspondientes para el sistema inglés o el sistema internacional.

De acuerdo a la Tabla 20 y ya conociendo nuestro ancho de garganta (W) de 3" o 0.076 m, podemos identificar nuestros valores de los coeficientes “n” y “k”, los cuales son: 1.547 y 0.176 m respectivamente.

PROFUNDIDAD DE LA LÁMINA DE AGUA (H) PARA Q_{MAX} , Q_{MED} Y Q_{MIN}

La profundidad de la lámina de agua (H) varía con el caudal máximo, medio y mínimo, por ende, la ecuación para cada caudal es (Mendoza, S, 2000):

$$H_{max} = \left(\frac{Q_{max}}{k}\right)^{1/n} = \left(\frac{0.0242}{0.176}\right)^{1/1.547} = 0.28 \text{ m}$$

$$H_{med} = \left(\frac{Q_{med}}{k}\right)^{1/n} = \left(\frac{0.008}{0.176}\right)^{1/1.547} = 0.2 \text{ m}$$

$$H_{min} = \left(\frac{Q_{min}}{k}\right)^{1/n} = \left(\frac{0.0074}{0.176}\right)^{1/1.547} = 0.13 \text{ m}$$

Donde: H_{MAX} = Profundidad de la lámina de agua para el caudal máximo (m)

H_{MED} = Profundidad de la lámina de agua para el caudal medio (m)

H_{MIN} = Profundidad de la lámina de agua para el caudal mínimo (m)

Q_{MAX} = Caudal máximo (m^3/s)

Q_{MED} = Caudal medio (m^3/s)

Q_{MIN} = Caudal mínimo (m^3/s)

k = Coeficiente en función de la garganta del medidor Parshall (m)

n = Coeficiente adimensional, en función de la garganta del medidor Parshall.

RESALTO (Z)

“El diseño del canal Parshall contiene una contracción del flujo y una elevación de su base, de tal manera que dentro o cerca de ella se produzca flujo crítico. Posteriormente, el descenso en el nivel de su base produce flujo supercrítico y ocasiona un resalto hidráulico en su parte más baja, donde el flujo pasa a subcrítico. Según el

software este Resalto Hidráulico (Z), se emplea la siguiente ecuación”. (Mendoza, S, 2000):

$$Z = \frac{Q_{max} \times H_{min} - Q_{min} \times H_{max}}{Q_{max} - Q_{min}} = \frac{0.0242 \times 0.13 - 0.0074 \times 0.28}{0.0242 - 0.0074} = 0.064 \text{ m}$$

Donde:

Z = Resalto

Q_{MAX} = Caudal máximo (m³/s)

Q_{MIN} = Caudal mínimo (m³/s)

H_{MIN} = Altura de la lámina para un caudal mínimo (m)

H_{MAX} = Altura útil del desarenador para un caudal máximo (m)

DIMENSIONES DEL MEDIDOR PARSHALL

A partir de diferentes practicas experimentales J.M. De Acevedo y Acosta G. establecen en su manual de hidráulica, las dimensiones para la construcción de una canaleta Parshall teniendo como base el ancho de la garganta (W). Se detalla en la Tabla 21.

Tabla 21

Valores típicos de las dimensiones de una canaleta Parshall a partir del ancho de garganta (W)

W		A	B	C	D	E	F	G	K	N
Pulg	Cm									
3	7.6	46.6	45.7	17.8	25.9	45.7	15.2	30.5	2.5	5.7
6	15.2	62.1	61.0	30.5	40.3	53.3	30.5	45.7	3.8	11.4
9	22.9	88.0	86.4	45.7	57.5	61.0	45.7	61.0	6.9	17.1
12	30.5	137.1	134.4	61.0	84.5	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
18	45.7	144.8	142.0	76.2	102.6	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
24	61.0	152.3	149.3	91.5	120.7	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
36	92.5	167.7	164.2	122.0	157.2	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9

48	122.0	182.8	179.2	152.5	193.8	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
60	152.5	198.0	194.1	183.0	230.3	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
72	183.0	213.3	209.1	213.5	266.7	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
84	213.5	228.6	224.0	244.0	303.0	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
96	244.0	244.0	239.0	274.5	340.0	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9

W: Sección o garganta contraída

NOTA: Azevedo Netto et al (1998) citado por Mendoca (2000) p, 186.

En nuestro caso, y según el software se obtuvo un ancho de garganta (W) de 7.6 cm o 3 pulgadas. Por lo cual, en base a la Tabla 21 obtendremos las siguientes dimensiones:

A = 46.6 cm

D = 25.9 cm

G = 30.5 cm

B = 45.7 cm

E = 45.7 cm

K = 2.5 cm

C = 17.8 cm

F = 15.2 cm

N = 5.7 cm

Todas estas dimensiones están resumidas en la Figura 18, que es el resultado gráfico final del Medidor Parshall realizado por el software “PTAR DISEÑO”.

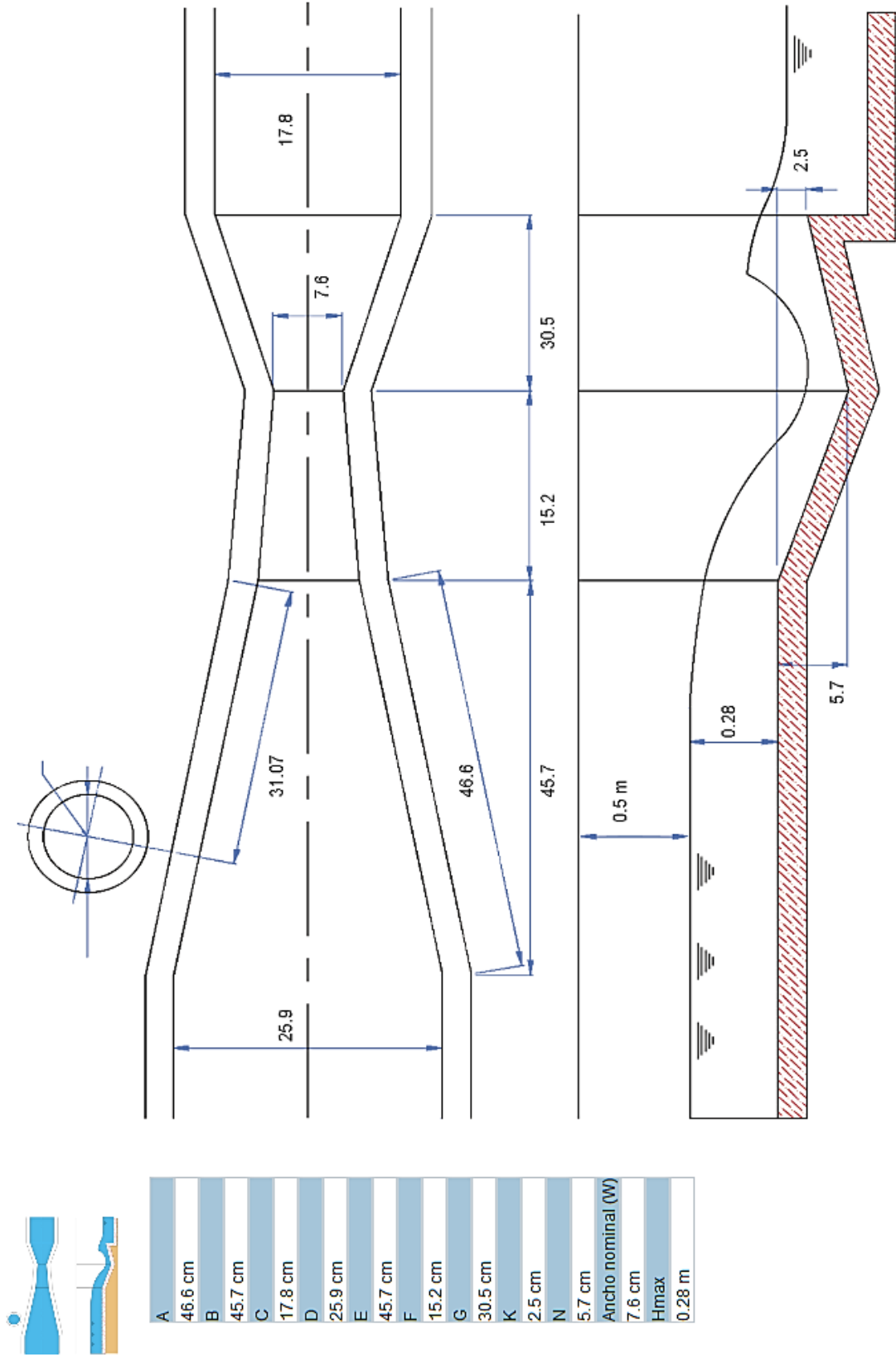
Figura 17

Canal Parshall “PTAR LABERINTO”



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 18
Resultados gráficos del diseño de Canal Parshall elaborado por el software "PTAR DISEÑO"



NOTA: Software "PTAR DISEÑO"

© PTAR Diseño
Tratamiento Preliminar Medidor Parshall
Esquema adaptado de Mendonça, 2000

DIMENSIONAMIENTO DEL DESARENADOR

Este elemento es una estructura diseñada para retener la arena que traen las aguas servidas o las aguas superficiales a fin de evitar que ingresen al canal de aducción o al proceso de tratamiento y lo obstaculicen creando serios problemas.

Tiene por objeto separar del agua cruda la arena y partículas en suspensión gruesa, con el fin de evitar se produzcan depósitos en las obras de conducción, proteger las bombas de la abrasión y evitar sobrecargas en los procesos posteriores de tratamiento. El desarenado se refiere normalmente a la remoción de las partículas superiores a 0,2 mm.

ALTURA MÁXIMA DE LÁMINA DE AGUA EN EL DESARENADOR

El software hace un cálculo de Altura Máxima de Lámina de Agua en el Desarenador de:
0.2135 m

ANCHO DEL DESARENADOR (b)

Según el software el ancho de los desarenadores está determinado por la siguiente ecuación (Mendoza, 2000, p. 180):

$$b = \frac{Q_{max}}{H \times V} = \frac{0.0242}{0.2135 \times 0.30} = 0.38 \text{ m}$$

Donde:

b = Ancho del desarenador (m)

Q_{MAX} = Caudal máximo (m³/s)

H = Altura máxima de la lámina de agua, para el caudal máximo (m)

V = Velocidad de flujo, usualmente igual a 0.30 m/s

VELOCIDAD DE FLUJO (V)

Generalmente se asume un valor de 0.3 m/s (Mendoza, 2000, p. 180). En este caso al verificar este valor en la memoria de cálculo del expediente técnico, también se toma referencia que este valor es 0.25 m/s aproximadamente 0.3 m/s es por ello que la velocidad de flujo será 0.3 m/s.

LONGITUD DEL DESARENADOR (L)

Según el software, para determinar la longitud del desarenador se emplea la siguiente fórmula (**Mendoça, 2000 p. 180**):

$$L = 25 \times H = 25 \times 0.2135 = 5.34 \text{ m}$$

Donde:
L = Longitud del desarenador (m)
H = Área útil del desarenador (m)

ÁREA LONGITUDINAL DEL DESARENADOR (A)

Según el software, el área longitudinal del desarenador (A), está determinado por la siguiente ecuación (**Mendoça, 2000 p.179**):

$$A = b \times L = 0.38 \times 5.34 = 2.012 \text{ m}^2$$

Donde:
A = Sección longitudinal del desarenador (m²)
b = Ancho del desarenador (m)
L = Longitud del desarenador (m)

ESTIMACIÓN DE MATERIAL RETENIDO (q)

Según el software, la estimación de material retenido (q), está determinado por la siguiente ecuación (**Mendoça, 2000 p. 191**):

$$q = \frac{Q_{med} \times 86.4 \times 75}{1000} = \frac{0.0139 \times 86.4 \times 75}{1000} = 0.09 \text{ m}^3/\text{día}$$

Donde:
q = Estimación del material retenido (m³/día)
Q_{MED} = Caudal medio (m³/s)

FRECUENCIA DE LIMPIEZA (t)

La frecuencia de limpieza, según el software nos indica un periodo de 8 días, este valor al verificarlo con el expediente técnico podemos notar que está en función al volumen de tolva y tasa de acumulación el cual da una referencia de 7.25 días, por lo cual asumimos la Frecuencia de Limpieza de: 8 días.

PROFUNDIDAD ÚTIL DEPÓSITO INFERIOR DE ARENA (p):

El valor de “p” depende de la frecuencia de limpieza. Si se desea disminuir el valor de “p”, debe disminuir el periodo de limpieza y viceversa. La ecuación para determinar “p” corresponde a (Mendoza, 2000 p. 191):

$$p = \frac{q \times t}{A} = \frac{0.09 \times 8}{2.012} = 0.36 \text{ m}$$

Donde: p = Profundidad útil del depósito inferior de arena (m)
q = Estimación del material retenido (m³/día)
t = Frecuencia de limpieza (días)
A = Área longitudinal del desarenador (m²)

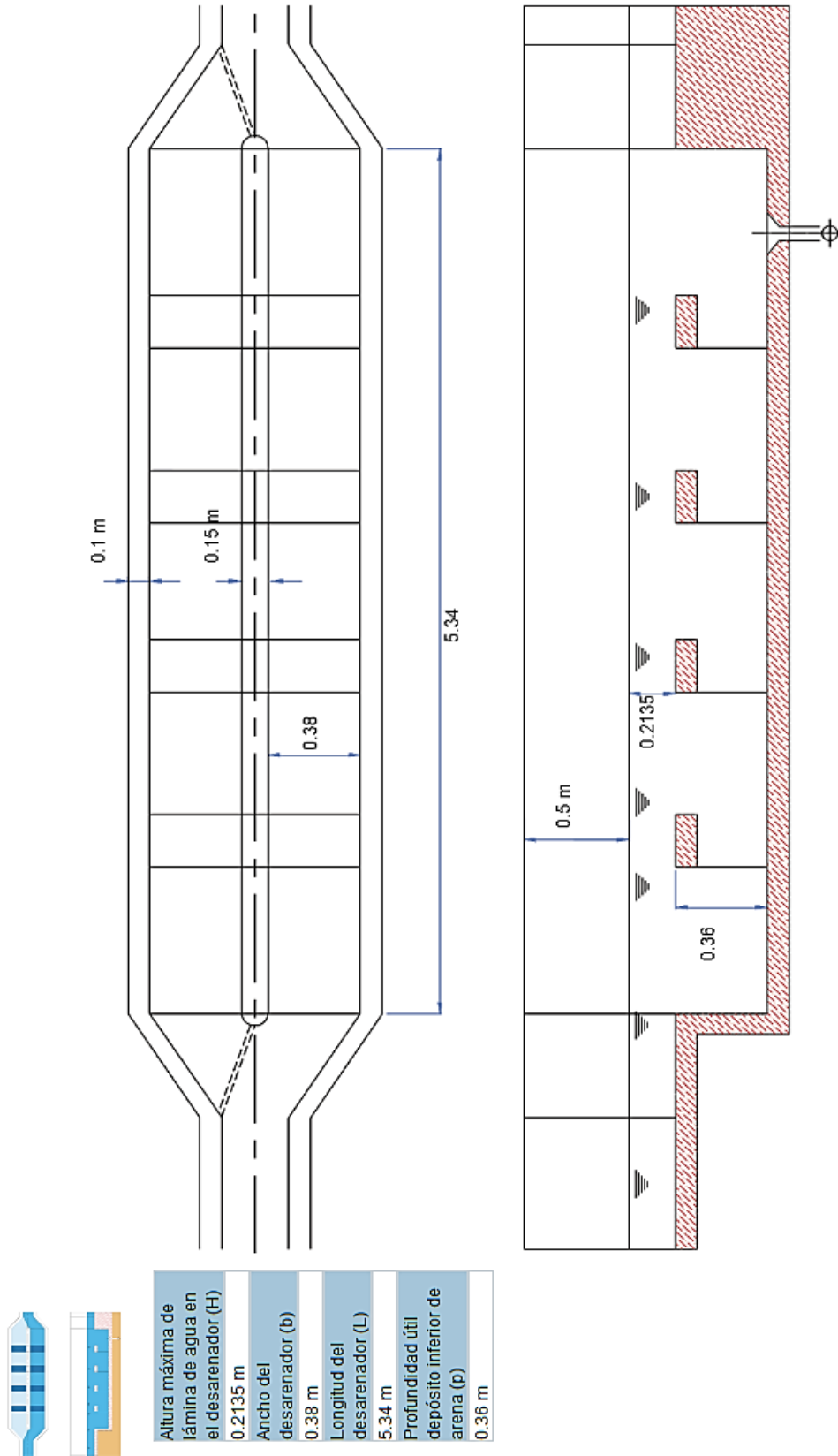
Todas estas dimensiones están resumidas en la Figura 20, que es el resultado gráfico final del Desarenador realizado por el software “PTAR DISEÑO”.

Figura 19
Desarenador “PTAR LABERINTO”



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 20
Resultados gráficos del diseño de Desarenador elaborado por el software "PTAR DISEÑO"



NOTA: Software "PTAR DISEÑO"

© PTAR Diseño
Tratamiento Preliminar Desarenador
Esquema adaptado de Mendonça, 2000



PASO 7: DISEÑO TRATAMIENTO SECUNDARIO – REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA)

Aunque el software permite el pre-diseño de seis tecnologías de tratamiento secundario, si nos basamos en el RAFA, nos permite diseñar este tratamiento secundario más otras tres tecnologías que complementan al RAFA, las cuales evaluaremos y diseñaremos más adelante, estas tecnologías son:

- Reactor RAFA + Laguna Facultativa
- Reactor RAFA + Filtro Percolador
- Reactor RAFA + Lodos Activados Modalidad Convencional

Para poder analizar el RAFA con las 3 tecnologías complementarias que nos proporciona el software, primero diseñaremos en este, el RAFA de acuerdo a las características de la “PTAR Laberinto”. Una vez diseñado este proceso de tratamiento secundario, podremos diseñar el pre-dimensionamiento de las otras tres tecnologías, las cuales son: Laguna Facultativa, Filtro Percolador y Lodos Activados Modalidad Convencional.

DIMENSIONAMIENTO DEL RAFA “PTAR LABERINTO” MEDIANTE EL SOFTWARE “PTAR DISEÑO”

Para poder comenzar con el dimensionamiento de este tratamiento secundario debemos tener los datos ya calculados e insertados por el software anteriormente, los cuales son:

$$Q_{MED} = 0.0139 \text{ m}^3/\text{s} = 1194.4664 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{MÁX} = 0.0242 \text{ m}^3/\text{s} = 2085.8712 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Demanda Química de Oxígeno (DQO)} = 800 \text{ mg/L o g/m}^3$$

$$\text{Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)} = 565.54 \text{ mg/L o g/m}^3$$

$$\text{Temperatura} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$



CÁLCULO DE CARGA AFLUENTE MEDIA DE DQO (L_o)

Según el software, la carga afluente media de DQO (L_o) se determina empleando la siguiente ecuación (**Chernicharo C., 2007**):

$$L_o = \frac{S_0 \times Q_{med}}{1000} = \frac{800 \times 1194.4664}{1000} = 675.5185 \text{ kg DQO/día}$$

Donde:
 L_o = Carga afluente media de DQO (kg/día)
 S_0 = Demanda Química de Oxígeno (g/m³)
 Q_{MED} = Caudal medio (m³/día)
1000 = Factor de conversión

Por lo tanto, la carga afluente media de DQO (L_o) será 675.5185 kg DQO/día.

TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO (TRH_{UASB})

“Para el tratamiento de aguas residuales domésticas pueden utilizarse tiempos mínimos de retención hidráulicos (TRH_{UASB}) de 6 horas, los cuales conllevan a remociones de hasta 80% en DBO”. (**RAS, 2000 título E, p.80**).

Usualmente se recomiendan valores de TRH entre 6 y 10 horas para el caudal medio, y no debe ser inferior a 4 horas para el caudal máximo (**Jordao y Pessoa, 2011, p. 833, Chernicharo, 2007, p. 218**).

El tiempo de retención hidráulico (TRH) puede determinarse en función de la temperatura, este dato se muestra a detalle en la Tabla 22.

Para nuestro caso, la temperatura promedio en el distrito de Laberinto es de 25°C, por lo cual al analizar los valores de la Tabla 22, podemos observar que está en el rango de 22 a 25 °C lo cual me indica que el tiempo de retención hidráulico debe ser mayor o igual a 7, al analizar este valor y comparándolo con el de la memoria de cálculo, asumiremos que este valor será de 7 horas de TRH.

Tabla 22*Tiempo de Retención Hidráulico (TRH_{UASB}) en función a la temperatura*

Temperatura (T - °C)	Tiempo de Retención Hidráulico (TRH_{UASB} – horas)
15 – 17	≥ 10.0
18 – 21	≥ 8.0
22 – 25	≥ 7.0
>25	≥ 6.0

NOTA: Adaptado de Chernicharo (2007, p218) y Jordao y Pessoa (2011, p. 833)

Por lo tanto, el Tiempo de Retención Hidráulico a una temperatura promedio de 25 °C será de 7 horas.

DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN TOTAL DEL REACTOR (V)

Según el software, el Volumen Total del Reactor (V), está determinado por la siguiente ecuación (Chernicharo C., 2007):

$$V = \frac{Q_{med} \times TRH_{UASB}}{24} = \frac{1194.4664 \times 7}{24} = 348 \text{ m}^3$$

Donde:

V = Volumen Total de los reactores (m^3)

TRH_{UASB} = Tiempo de retención hidráulico (horas)

Q_{MED} = Caudal Medio ($\text{m}^3/\text{día}$)

24 = Factor de Conversión

Por lo tanto, el Volumen Total del Reactor será de 348 m^3 .

VOLUMEN ASUMIDO POR UNIDAD DE REACTOR

Para facilidades constructivas y operacionales se recomienda que el volumen de los reactores RAFA varíen entre 500 – 2000 m^3 (Jordao y Pessoa, 2011, p. 843; Chernicharo, 2007, p. 258). Sin embargo, para sistemas pequeños de tratamiento de agua residual es frecuente el uso de módulos con volumen entre 400 y 500 m^3 (Chernicharo, 2007, p. 258). En general, cada módulo del reactor RAFA debe ser inferior a 500 m^3 .

Al tratarse de una población de 5000 a 6000 habitantes en el distrito de Laberinto y al ser un sistema de tratamiento de agua residual de tamaño regular de la “PTAR Laberinto” es que el software asume un volumen por unidad de reactor de 500 m³.

ADOPCIÓN DE NÚMERO DE UNIDADES DE REACTORES (NR)

Según el software y de acuerdo a la información bibliográfica con la que trabaja, se asume un número de unidades de reactores (NR) de 2 unidades (Chernicharo C., 2007 p. 258).

VOLUMEN POR UNIDAD DE REACTOR (V_r)

El volumen de cada reactor está determinado por la ecuación (Chernicharo C., 2007):

$$V_R = \frac{V}{N_R} = \frac{348}{2} = 174 \text{ m}^3$$

Donde:
V = Volumen Total del reactor (m³)
V_R = Volumen de cada reactor (m³)
N_R = Número de reactores

Por lo tanto, el Volumen por Unidad de Reactor (N_R) será de 174 m³.

ALTURA DEL REACTOR (H)

La altura de los reactores RAFA está en función del tipo de lodo, la carga orgánica aplicada y/o carga hidráulica – volumétrica, que afectan la velocidad ascensional. Para el tratamiento de agua residual doméstica usando lodo floculento se emplean alturas entre 4.0 – 6.0 m. Distribuido así (Jordao y Pessoa, 2011, p. 837; Chernicharo, 2007, p. 223):

- Altura del compartimiento de sedimentación: 1.5 – 2.0 m (Chernicharo, 2007, p.222).
- Altura del compartimiento de digestión: 2.5 – 3.5 m (Chernicharo, 2007, p.222).
- Altura del colector de gas: 1.5 – 2.0 m



Donde: $A_T = \text{Área total (m}^2\text{)}$

$N_R = \text{Número de reactores}$

$a_r = \text{Ancho de cada reactor (m)}$

$L_R = \text{Longitud de cada reactor (m)}$

- El volumen total (V_T), está determinado por la ecuación (**Chernicharo, 2007**):

$$V_T = A_T \times H = 70 \times 5 = 350 \text{ m}^3$$

Donde: $V_T = \text{Volumen total (m}^3\text{)}$

$A_T = \text{Área Total (m}^2\text{)}$

$H = \text{Altura del reactor (m)}$

- La verificación del tiempo de retención hidráulico (TRH_{UASB}), está determinado por la ecuación (**Chernicharo, 2007**):

$$TRH_{UASB} = \frac{V_T}{Q_{med}} \times 24 = \frac{350}{1194.4664} \times 24 = 7.1 \text{ horas}$$

Donde: $V_T = \text{Volumen total verificado (m}^3\text{)}$

$Q_{MED} = \text{Caudal medio (m}^3\text{/día)}$

VERIFICACIÓN DE CARGAS APLICADAS

- **CARGA HIDRÁULICA VOLUMÉTRICA (CHV):** La carga hidráulica volumétrica (CHV) es la cantidad de volumen de aguas residuales aplicado diariamente al reactor por unidad de volumen del mismo. El tiempo de retención hidráulico es el inverso de la CHV que puede determinarse así (**Chernicharo, 2007**):

$$CHV = \frac{Q_{med}}{V_T} = \frac{1194.4664}{350} = 3.42 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}$$

Donde: $CHV = \text{Chequeo de carga aplicada}$

$Q_{MED} = \text{Caudal medio (m}^3\text{/día)}$

$V_T = \text{Volumen total verificado (m}^3\text{)}$

Se sugiere que la CHV no sobrepase un valor de $5.0 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}$, equivalente a un tiempo de retención hidráulico mínimo de 4.8 horas.

Se concluye que, la CHV es el volumen de agua residual que recibe diariamente el reactor, por unidad de volumen. El tiempo de retención hidráulico es el recíproco de la carga hidráulica volumétrica. Por lo tanto, la CHV, según el software, para el RAFA será de $3.42 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}$.

- **CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA (COV):** La carga orgánica volumétrica (COV) se usa también como parámetro de dimensionamiento del volumen del reactor, por relacionarse de forma indirecta con el tiempo de retención hidráulico del reactor.

Para el tratamiento de agua residual doméstica, cuya concentración de materia orgánica es relativamente baja (1000 mg DQO/L), la carga orgánica volumétrica (COV) aplicada al reactor oscila típicamente entre 2.5 a $3.5 \text{ kg/DQO/m}^3 \cdot \text{día}$. Valores superiores pueden ocasionar cargas hidráulicas y velocidades ascensionales muy elevadas.

- La carga orgánica volumétrica (COV) está determinada por la ecuación (Chernicharo, 2007):

$$COV = \frac{Q_{med} \times S_o}{1000 \times V_T} = \frac{1194.4664 \times 800}{1000 \times 350} = 1.9301 \text{ kg DQO/m}^3 \cdot \text{d}$$

Donde:

COV = Carga orgánica volumétrica

Q_{MED} = Caudal medio ($\text{m}^3/\text{día}$)

V_T = Volumen total verificado (m^3)

S_o = Demanda química de oxígeno DQO (g/m^3)

CÁLCULO DE VELOCIDAD ASCENSIONAL (V_a) PARA CAUDAL MEDIO Y MÁXIMO

La velocidad ascensional es calculada a partir de la relación entre el caudal y el área de la sección transversal del reactor, la velocidad ascensional está determinada por la ecuación (Chernicharo, C., 2007):



$$V_a = \frac{Q_{med}}{A_T \times 24} = \frac{1194.4664}{70 \times 24} = 0.711 \text{ m/h}$$

Donde:

- V_a = Velocidad ascensional (m/h)
- Q_{MED} = Caudal medio (m³/día)
- A_T = Área total verificada (m²)
- 24 = Factor de conversión

La velocidad máxima dependerá del tipo de lodo a emplear y las cargas aplicadas. Para reactores que operan con lodo floculento y cargas orgánicas volumétricas entre 5.0-6.0 kg DQO/m³*d, las velocidades medias deben estar entre 0.5 a 0.7 m/h, tolerándose picos entre 1.5 a 2.0 m/h durante máximo 4 horas. Para reactores operando con lodo granular la velocidad puede ser del orden de 10.0 m/h. Para el tratamiento de agua residual doméstica se recomiendan las velocidades descritas en la Tabla 23 (Jordao & Pessoa, 2011, p. 837).

Tabla 23
Velocidad ascensional en función a la condición de caudal

Condición de caudal	Velocidad ascensional (m/h)
Caudal medio	0.7
Caudal máximo	1.2
Picos temporales de caudal (con duración entre dos y cuatro horas)	1.5

En general se recomienda que la velocidad ascensional no supere 1 m/h
NOTA: Mara, 2003. p. 202 – 203

- Cálculo de Velocidad Ascensional (V_a) para Q_{MAX} :

$$V_a = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{A_T \times 24} = \frac{2085.8712}{70 \times 24} = 1.242 \text{ m/h}$$

Donde:

- V_a = Velocidad ascensional (m/h)
- Q_{MAX} = Caudal máximo (m³/día)
- A_T = Área total verificada (m²)

24 = Factor de conversión

Por lo tanto, la Velocidad Ascensional (Va) para Q_{MED} y Q_{MAX} , será de 0.711 y 1.242 m/h respectivamente.

SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DEL AFLUENTE

- **ÁREA DE INFLUENCIA POR TUBO DISTRIBUIDOR (A_d):** Se recomienda que la distribución del afluente se realice por medio de tuberías alimentadas individualmente con un área de influencia del orden de 1.5 a 3 m² por punto de entrada.

Teniendo en cuenta que, las cargas orgánicas aplicadas al reactor por lo general son del orden de 1.0 a 3.0 kg DQO/m³*d, puede definirse el área de influencia según la Tabla 24. (Chernicharo, 2007 p. 228):

Tabla 24

Área de influencia de cada distribuidor en función al tipo de lodo y la COV

Tipo de lodo	Carga orgánica aplicada (Kg DQO/m ³ *d)	Área de influencia de cada distribuidor (m ²)
Denso y floculento (Concentración >40 Kg SST/m ³)	1.0	0.5 a 1.0
	1.0 a 2.0	1.0 a 2.0
	>2.0	2.0 a 3.0
Medianamente denso y floculento (Concentración de 20 a 40 Kg SST/m ³)	1.0 a 2.0	1.0 a 2.0
	>3.0	2.0 a 5.0
Granular	2.0.	0.5 a 1.0
	2.0 a 4.0	0.5 a 2.0
	>4.0	>2.0

NOTA: Jordao & Pessoa, 2011, p.837

Áreas de influencia mayores (4-5 m²) pueden afectar el régimen de mezcla durante la operación del reactor disminuyendo el contacto biomasa/sustrato y ocasionando las zonas muertas en el reactor. El diámetro de los tubos de



distribución del afluyente debe ser preferiblemente entre 75 – 100 mm, y mínimo de 50 mm y ubicarse a 0.15 m del fondo del tanque. (**Jordao & Pessoa, 2011, p. 837**).

Principalmente para agua residual doméstica, es importante garantizar una distribución uniforme con un control individual en cada punto (tubo) de distribución del agua, por ejemplo, inyectando el agua residual en el canal principal, localizado en la parte superior del reactor, desde el cual los tubos pueden tomar el agua residual doméstica para cada punto de distribución. (**Van Lier, 2010**).

En este caso, de acuerdo a los datos de la carga orgánica aplicada, al dato que nos proporciona el software, la Tabla 24 y también al relacionar este dato en la memoria de cálculo del expediente técnico se tiene un Área de Influencia por Tubo Distribuidor de 2 m².

NÚMERO DE TUBOS DE DISTRIBUCIÓN (Nd): El número de tubos se determina mediante la siguiente ecuación (**Chernicharo, C., 2007**):

$$N_d = \frac{A_T}{A_d} = \frac{70}{2} = 35 \text{ tubos de distribución}$$

Donde: Nd = Número de tubos de distribución

Ad = Área de influencia de cada tubo (m²)

A_T = Área de sección transversal del reactor (m²)

- **EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DQO DEL SISTEMA (E_{DQO}):** Las eficiencias de remoción de DQO son afectadas fácilmente por el tiempo de retención hidráulico del sistema y pueden variar entre 40 a 80% para DQO y entre 40 a 90% para DBO₅ (**Chernicharo, C., 2007**).

La eficiencia de remoción está determinada por la ecuación:

$$\% E_{DQO} = 100 \times (1 - 0.68 \times TRH^{-0.35}) = 100 \times (1 - 0.68 \times 7.1^{-0.35}) = 65.7 \%$$



Donde: % E_{DQO} = Eficiencia de remoción DQO (%)
 TRH = Tiempo de retención hidráulico verificado (horas)
 0.68 – 0.35 = constantes empíricas

Por lo tanto, se obtiene una Eficiencia de Remoción de DQO del Sistema de 65.7 %.

- **EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DBO DEL SISTEMA (E_{DBO}):** La eficiencia de remoción está determinada por la siguiente ecuación (**Chernicharo, C., 2007**):

$$E_{DQO} = 100 \times (1 - 0.70 \times TRH^{-0.50}) = 100 \times (1 - 0.70 \times 7.1^{-0.50}) = 73.7\%$$

Donde: % E_{DBO} = Eficiencia de remoción DBO (%)
 TRH = Tiempo de retención hidráulico verificado (horas)
 0.70 - 0.50 = constantes empíricas

Por lo tanto, se obtiene una Eficiencia de Remoción de DBO del Sistema de 73.7 %.

- **ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE DQO EN EL EFLUENTE (S_{DQO}):** La estimación de concentración de DQO se determina de acuerdo con la ecuación (**Chernicharo, C., 2007**):

$$S_{DQO} = S_o - \frac{\% E_{DQO} \times S_o}{100} = 800 - \frac{65.7 \times 800}{100} = 274.4 \text{ mg/L}$$

Donde: % E_{DQO} = Eficiencia de remoción DQO (%)
 S_o = Concentración de DQO en el afluente (mg/L)
 S_{DQO} = Concentración de DQO en el efluente (mg/L)

Por lo tanto, se obtiene una Estimación de la Concentración de DQO en el Efluente de 274.4 mg/L.

- **ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE DBO EN EL EFLUENTE (S_{DBO}):** La estimación de concentración de DBO se determina de acuerdo con la ecuación (**Chernicharo, C., 2007**):

$$S_{DBO} = S_o - \frac{\% E_{DBO} \times S_o}{100} = 565.54 - \frac{73.7 \times 565.54}{100} = 149.3 \text{ mg/L}$$

Donde: % E_{DBO} = Eficiencia de remoción DBO (%)
 S_o = Concentración de DBO en el afluente (mg/L)



S_{DBO} = Concentración de DBO en el efluente (mg/L)

Por lo tanto, se obtiene una Estimación de la Concentración de DBO en el Efluente de 149.3 mg/L.

- **COEFICIENTE DE PRODUCCIÓN DE SÓLIDOS (Y):** Viene a ser el rendimiento o coeficiente de producción de sólidos en función a (kg SST/ kg $DQO_{aplicada}$), para este caso de acuerdo a la memoria de cálculo del expediente técnico y al dato que nos proporciona el software, este Coeficiente de Producción de Sólidos (Y) será de 0.2.
- **PRODUCCIÓN DE LODO ESPERADA (P_{LODO}):** La estimación de producción de lodo en reactores RAFA puede realizarse a través de la siguiente ecuación (**Chernicharo, C., 2007**):

$$P_{LODO} = Y * L_o = 0.2 \times 675.5185 = 135.1037 \text{ kg SST/día}$$

Donde: P_{LODO} = Producción de lodos en el sistema (kg SST/día)
 Y = Coeficiente de sólidos en el sistema (0.10 – 0.20 kg SST/kg $DQO_{aplicada}$)
 L_o = Carga de DQO aplicada al sistema (kg DQO/día)

- **VOLUMEN DE LODO (V_{LODO}):** El volumen de lodo puede determinarse a través de la ecuación (**Chernicharo, C., 2007**):

$$V_{lodo} = \frac{P_{lodo}}{\gamma \times c_{lodo}} = \frac{135.1037}{1020 \times 4} = 3.3114 \text{ m}^3/\text{día}$$

Donde: V_{LODO} = Producción volumétrica de lodo ($\text{m}^3/\text{día}$)
 P_{LODO} = Producción de lodos en el sistema (kg SST/día)
 γ = Masa específica de lodo – densidad (1020 – 1040 kg/m^3)
 C_{LODO} = Concentración de lodo (4%)

PRODUCCIÓN DE METANO

- **COEFICIENTE DE PRODUCCIÓN DE SÓLIDOS EN TÉRMINOS DE DQO (Y_{OBS}):** Este coeficiente está en función a los kg de DQO de lodo por kg de DQO aplicada (kg $DQO_{lodo}/\text{kg } DQO_{aplicada}$), para este caso, verificando los datos

de la memoria de cálculo y al dato que nos proporciona el software, se tiene un Coefficiente de Producción de Sólidos en Términos de DQO (Y_{OBS}) de 0.2 kg $DQO_{lodo}/kg DQO_{aplicada}$.

- **CARGA DE DQO CONVERTIDA EN METANO (DQO_{CH_4}):** La producción de biogás puede estimarse con base en la carga de DQO afluente al reactor que es convertida en metano y se determina por la ecuación (**Chernicharo, C., 2007**):

$$DQO_{CH_4} = Q_{med} * (S_o - S) - (Y_{obs} * Q_{med} * S_o) = 1194.4664 * (800 - 274.4) - (0.2 * 1194.4664 * 800) = 529.0112 \text{ kg DQO/día}$$

Donde: DQO_{CH_4} = Carga de DQO convertida en metano (Kg $DQO_{CH_4}/día$)

Q_{MED} = Caudal medio ($m^3/día$)

S_o = Concentración de DQO del afluente (Kg DQO/m^3)

S = Concentración de DQO del efluente (Kg DQO/m^3)

Y_{OBS} = Coeficiente de producción de sólidos en el sistema en términos de DQO (0.11 a 0.23 kg $DQO_{lodo}/kg DQO_{aplicada}$).

- **FACTOR DE CORRECCIÓN PARA LA TEMPERATURA OPERACIONAL DEL REACTOR $F(t)$:** El factor de corrección para la temperatura operacional del reactor se determina en función de la ecuación (**Chernicharo, C., 2007**):

$$F(t) = \frac{P \times K_{DQO}}{R \times (273 + T)} = \frac{1 \times 64}{0.08206 \times (273 + 25)} = 2.62 \text{ kg DQO}/m^3$$

Donde: P = Presión atmosférica (1 atm)

K_{DQO} = DQO correspondiente a un mol de CH_4 (64 kg DQO/m^3)

R = Constante de gases (0.08206 atm. L/mol. K)

T = Temperatura operacional del reactor ($^{\circ}C$)

Por lo tanto, se obtiene un $F(t)$ de 2.62 kg DQO/m^3 .

- **PRODUCCIÓN VOLUMÉTRICA DE METANO (Q_{CH_4}):** La producción volumétrica de metano (Q_{CH_4}) se determina de acuerdo a la ecuación (**Chernicharo, C., 2007**):

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{F(t)} = \frac{529.0112}{2.62} = 202.1309 \text{ m}^3/\text{día}$$

Donde: Q_{CH_4} = Producción volumétrica de metano ($\text{m}^3/\text{día}$)

DQO_{CH_4} = Carga de DQO convertida en metano ($\text{Kg DQO}_{CH_4}/\text{día}$)

$F(t)$ = Factor de corrección para la temperatura operacional del reactor ($\text{kg DQO}/\text{m}^3$)

Por lo tanto, se obtiene un Q_{CH_4} de 202.1309 $\text{m}^3/\text{día}$.

- **CONCENTRACIÓN DE METANO (C_{CH_4}):** El gas producido en los reactores usualmente presenta una concentración de metano de 70% a 80%, en este caso para la “PTAR Laberinto” consideramos el dato que nos proporciona el software, el cual es una (C_{CH_4}) DE 75%. (Chernicharo, C., 2007 p. 240).
- **PRODUCCION VOLUMÉTRICA DE BIOGÁS (Q_{BIOGAS}):** La producción volumétrica de biogás Q_{CH_4} , se determina de acuerdo a la ecuación:

$$Q_{BIOGAS} = \frac{Q_{CH_4}}{C_{CH_4}} = \frac{202.1309}{0.75} = 269.5079 \text{ m}^3/\text{día}$$

Donde: Q_{BIOGAS} = Producción volumétrica de biogás ($\text{m}^3/\text{día}$)

Q_{CH_4} = Producción volumétrica de metano ($\text{m}^3/\text{día}$)

C_{CH_4} = Concentración de metano en biogás, por lo general es del orden de 70 a 80%

Por lo tanto, se obtiene una Q_{BIOGAS} de 269.5079 $\text{m}^3/\text{día}$.

ESTIMACIÓN DE ENERGÍA GENERADA

- **PODER CALORÍFICO DEL BIOGÁS (P_c):** El poder calorífico de los principales gases se describe en la Tabla 25 (Jordao, E. & Pessoa, 2011).

Tabla 25

Estimación del poder calorífico del biogás en función al tipo de gas

GAS	PODER CALORÍFICO (kJ/m^3)
Propano comercial	45,800
Butano comercial	44,600
Gas natural	37,300
Metano	35,800

Gas de digestión (*)	22,400
----------------------	--------

(*) Asumiendo 65% de gas metano generado en el digestor
 kJ/m^3 : energía/volumen de combustible
NOTA: Jordao, E. & C. Pessoa (2011)

Por lo tanto, se obtiene un Poder Calorífico del Biogás (Pc) de 22,400 kJ/m^3 .

- **ENERGÍA BRUTA PRODUCIDA (E):** La energía bruta producida se determina a través de la ecuación:

$$E = Q_{\text{BIOGAS}} \times P_c = 317.4879 \times 22,400 = 6'036,975.61 \text{ kJ/día}$$

Donde:
E = Energía bruta producida (kJ/día)
 Q_{BIOGAS} = Producción volumétrica de biogás ($\text{m}^3/\text{día}$)
Pc = Poder calorífico del biogás (kJ/m^3)

Por lo tanto, se obtiene una Energía Bruta Producida de 6'036,975.61 kJ/día .

Esta unidad también se puede convertir a kilovatio hora (kWh), lo cual nos daría una cantidad de 1676.94 kWh/día.

- **RENDIMIENTO GLOBAL DE TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA (R%):** El rendimiento global de transformación de energía eléctrica puede ser del orden de 25%, es por ello que se asume este porcentaje según el software de Rendimiento Global de Transformación de Energía Eléctrica (25%) (Jordao, E. & Pessoa, 2011).
- **POTENCIAL DE ELECTRICIDAD DISPONIBLE:** El potencial de electricidad disponible está determinado por la ecuación (Jordao, E. & Pessoa, 2011).

$$\text{Potencial de electricidad disponible} = R\% \times \frac{E}{24} = 0.25 \times \frac{1676.94}{24} = 17.47 \text{ kw}$$

Donde:
E = Energía bruta producida (kWh/día)
24 = Coeficiente de conversión
R% = Rendimiento global de transformación de energía eléctrica

Por lo tanto, se obtiene un Potencial de Electricidad Disponible de 17.47 kw (kilovoltios). Esta unidad también se puede convertir a Hp (Caballo de fuerza mecánico), lo cual nos dará una cantidad de 23.43 Hp.

Con esto se culmina el diseño del RAFA, todas las dimensiones anteriormente calculadas están resumidas en la Figura 22, que es el resultado gráfico final del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) realizado por el software “PTAR DISEÑO”.

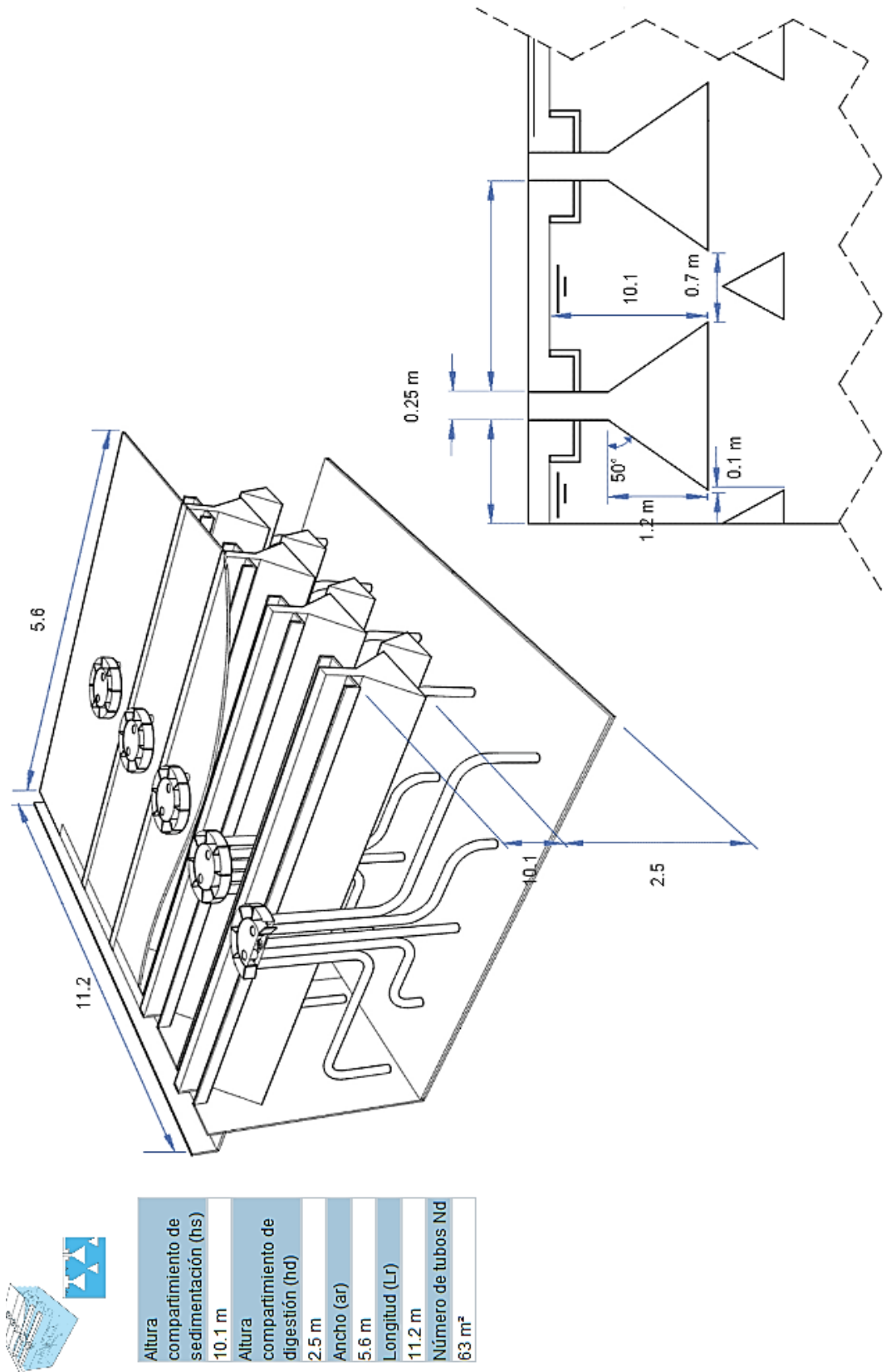
Figura 21

Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) "PTAR Laberinto"



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 22
Resultados gráficos del diseño del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) elaborado por el software "PTAR DISEÑO"



© PTAR Diseño
Tecnología Reactor UASB
Esquema adaptado de Chernicharo, 2007.

NOTA: Software "PTAR DISEÑO"



PASO 8: DISEÑO TRATAMIENTO BIOLÓGICO – REACTOR RAFA + LAGUNA FACULTATIVA

En este paso analizaremos un proceso de tratamiento secundario que pudo haberse aplicado en el proyecto, el cual es complementar el RAFA con una laguna facultativa, analizaremos su desempeño en remoción de sólidos, eficiencia de DBO estimada, tiempo de retención hidráulico, etc. El software nos permite analizar este paso con la información ya calculada para el diseño de la “PTAR Laberinto”.

LAGUNA FACULTATIVA SECUNDARIA (RAFA)

Con el fin de dar tratamiento a las aguas residuales están las lagunas facultativas, que son básicamente áreas usualmente excavadas en la tierra e impermeabilizadas, además se caracterizan por no requerir tratamiento primario, aunque es recomendable y necesario utilizar un pre tratamiento basado en retirar las partículas grandes que pueda contener el agua residual, así como la arena, en este caso ya se cuenta con el tratamiento primario dimensionado para el software.

Una laguna facultativa se caracteriza además de tener una profundidad que oscila entre 1,5 y 2 metros, presenta también tres zonas bien definidas. De un lado está la zona superficial, donde las bacterias y algas coexisten simbióticamente como en las lagunas aerobias. La otra zona es la del fondo, de carácter anaerobio, donde los sólidos se acumulan y son descompuestos, fermentativamente. Y por último la zona intermedia, parcialmente aerobia y parcialmente anaerobia, donde la descomposición de la materia orgánica se realiza mediante bacterias aerobias, anaerobias y facultativas. “Las lagunas que reciben el efluente de una primaria se llaman secundarias; y así sucesivamente las lagunas de estabilización se pueden llamar terciarias, etc. Las lagunas secundarias mejoran la calidad del efluente primario, tanto desde el punto de vista del contenido de materia orgánica como de organismos patógenos. En las lagunas



primarias secundarias se incrementa el número de géneros y la densidad de algas, predominan las algas verdes”. (**Chlorella, Scenedesmus, 2015**).

DIMENSIONAMIENTO DE LAGUNA FACULTATIVA SECUNDARIA (RAFA) “PTAR LABERINTO” MEDIANTE EL SOFTWARE “PTAR DISEÑO”

Para poder comenzar con el diseño de este tratamiento biológico, complementario al RAFA, el software toma como referencia los siguientes datos ya calculados anteriormente, los cuales son:

$$Q_{MED} = 0.0139 \text{ m}^3/\text{s} = 1194.47 \text{ m}^3/\text{día}$$

Estimación de la concentración de DBO en el afluente (S) = 124.9.4 mg/L

Temperatura = 25°C

TASA DE EVAPORACIÓN (e)

En términos hidrológicos, es la cantidad de agua, expresada en términos de profundidad de agua líquida, que se evapora de una superficie dada por unidad de tiempo.

Es claro que las mayores tasas de evaporación se producen en la primavera-verano (febrero, 200 mm/mes aprox.), en cambio, tiende a disminuir en el periodo de otoño-invierno (junio, 140 mm/mes aprox.). Además de la cantidad, se extiende el área de evaporación, disminuyendo durante el invierno correspondiendo a las zonas de mayores alturas los valores más bajos. Si se compara la cantidad evaporada con la precipitación se podrá observar que esta generalmente sobrepasa a la precipitación del mes correspondiente y la fuente de humedad para compensar el déficit es proporcionado por el suelo (**ERM Perú S.A.**).

Por lo tanto, al entender que se trabajará con la tasa de evaporación máxima, la cual es en verano-primavera, se obtienen 200 mm/mes aprox. lo cual, si lo convertimos a una cantidad diaria, se calculan 6 mm/día, dato que se ingresará en el software



“PTAR DISEÑO”. Este estudio fue el que se registró para la localidad de Puerto Rosario donde se ejecutó la “PTAR Laberinto”.

Toda esta información, para el cálculo de la tasa de evaporación, fue realizado por encargo de Transportadora de Gas del Perú (TGP). Se obtiene, por lo tanto, una Tasa de Evaporación diaria de 6 mm/día.

CARGA ORGÁNICA SUPERFICIAL (CS_{LF})

Se recomienda valores de carga orgánica superficial entre 100 y 350 kg DBO/ha*día, y puede ser calculada con la siguiente ecuación (Mara D., 2003, p. 119):

$$CS_{LF} = 350 \times (1.107 - 0.002 \times T)^{T-25} = 350 \times (1.107 - 0.002 \times 25)^{25-25} = 350 \text{ kg DBO}_5/\text{ha} \cdot \text{día}$$

Donde: CS_{LF} = Carga orgánica superficial de la laguna facultativa (kg DBO/ha*día)

T = Temperatura (°C)

Por lo tanto, se obtiene una Carga Orgánica Superficial de la Laguna Facultativa de 350 kg DBO/ha*día.

CÁLCULO DE ÁREA SUPERFICIAL

ALTURA ÚTIL (h_{LF}): La altura útil debe estar entre 1.0 – 2.5 m (Recomendable 1.5 m), es por ello que asumiremos una altura útil recomendable de acuerdo al software. (Mara D., 2003, p. 120).

Por lo tanto, se obtiene una Altura Útil (h_{LF}) de 1.5 m.

- **ÁREA SUPERFICIAL (AS_{LF}):** Está determinada por la siguiente ecuación (Mara D., 2003):

$$AS_{LF} = \frac{10 \times S_{LA} \times Q_{med}}{CS_{LF}} = \frac{10 \times 124.9 \times 1194.4664}{350} = 4262.5 \text{ m}^2$$

Donde: AS_{LF} = Área superficial (m^2)

CS_{LF} = Carga orgánica superficial de la laguna facultativa (kg DBO/ha*día)

Q_{MED} = Caudal medio ($\text{m}^3/\text{día}$)

S_{LA} = DBO en el efluente de la laguna anaerobia (mg/L o g/m^3)

10 = Factor de conversión

Por lo tanto, se obtiene un Área Superficial de 4262.5 m².

TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO (TR_{LF})

Se recomienda un Tiempo de Retención Hidráulico entre 5 y 30 días, e idealmente mayor a 4 días y se puede calcular mediante la siguiente ecuación (Mara, 2003, p. 120):

$$Tr_{LF} = \frac{2 \times AS_{LS} \times h_{LF}}{2 \times Q_{med} - 0.001 \times e \times AS_{LF}} = \frac{2 \times 4262.5 \times 1.5}{2 \times 1194.47 - 0.001 \times 0.006 \times 4262.5} = 5.5 \text{ días}$$

Donde: TR_{LF} = Tiempo de retención hidráulico laguna facultativa (días)

AS_{LF} = Área superficial laguna facultativa (m²)

h_{LF} = Altura útil laguna facultativa (m)

Q_{MED} = Caudal medio (m³/día)

e = Tasa de evaporación (mm/día)

Por lo tanto, se obtiene un Tiempo de Retención Hidráulico (TR_{LF}) de 5.5 días.

EFICIENCIA DE DBO₅ ESTIMADA

La eficiencia de remoción de DBO₅ estimada se basa en la siguiente ecuación (Mara, D., 2003):

$$k_{1(T)} = k_{1(20)} \times 1.05^{T-20} = 0.1 \times 1.05^{25-20} = 0.128$$

$$\%_{LF} = \frac{S_{LA}}{1 + k_1 \times TR_{LF}} = \frac{124.9}{1 + 0.128 \times 5.5} = 63.9 \%$$

Donde: %_{LF} = Eficiencia de DBO estimada (%)

S_{LA} = DBO en el efluente de la laguna anaerobia (mg/L o g/m³)

TR_{LF} = Tiempo de retención hidráulico laguna facultativa (días)

k₁ = Constante de primer orden (d⁻¹)

k₁₍₂₀₎ = 0.3 d⁻¹ para lagunas facultativas primarias y 0.1 d⁻¹ para lagunas facultativas secundarias

T = Temperatura (°C)

Por lo tanto, se obtiene una Eficiencia de DBO estimada de 73.9 %

VOLUMEN ÚTIL (VLA)

Según el software obtenemos, de acuerdo a los cálculos generados anteriormente, un Volumen Útil (VLA) de la Laguna Facultativa de 6393.8 m³. (Cantidad de Agua Máxima Almacenable).

RELACIÓN LARGO: ANCHO

Se recomienda una relación Largo: Ancho de 3: 1. De acuerdo a esta relación determinamos mediante una proporción de 3: 1 la relación Largo: Ancho (**Oakley, S. 2005**):

$$4262.5 = \text{Área Superficial (m}^2\text{)} = \text{Largo} \times \text{Ancho}$$

$$4262.5 = 3k \times 1k = 3k^2; k = \sqrt{\frac{4262.5}{3}} = 37.7$$

$$\text{Por lo tanto; } \text{Largo} = 3k = 3 \times 37.7 = 113.1 \text{ m ; Ancho} = k = 37.7 \text{ m}$$

Se obtiene, un Largo (LLF) de 113.1 m y un Ancho (aLF) de 37.7 m.

PENDIENTE (n)

Se recomienda valores de la pendiente (n) entre 2 y 3, preferiblemente 3.

$$\text{pendiente (n)} \propto \frac{1}{n=3}$$

Según el software, seguiremos los datos proporcionados por este, por lo tanto, tendremos una Pendiente (n) de 1: 3. (Mendoza, S. R. 2000, p. 330).

ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE LA PENDIENTE

El ángulo de inclinación de la pendiente se calcula de acuerdo a los valores de esta, en este caso vendría a ser la arctang (α) de los valores que se tiene:

$$\alpha = \text{atan} \left(\frac{1}{n} \right) = \text{atan} \left(\frac{1}{3} \right) = 18.5^\circ$$

Por lo tanto, se tiene un Ángulo de Inclinación de la Pendiente de 18.5° (Mendoza, S. R. 2000, p. 330).

BORDE LIBRE

Según el software, este dato varía de acuerdo al área superficial calculada anteriormente, esto se detalla a continuación (**Mendoza, S. R. 2000, p. 330**).

- Lagunas con Área Superficial < 1 ha ($10,000 \text{ m}^2$) = 0.5 m Borde Libre
- Lagunas con Área Superficial 1 - 3 ha ($10,001 - 30,000 \text{ m}^2$) = 0.5 – 1.0 m Borde Libre
- Lagunas con Área Superficial > 3 ha ($> 30,000 \text{ m}^2$) = $\log_{10}(AS_{LF})^{1/2}$ m Borde Libre

Por lo tanto, de acuerdo a los datos proporcionados por el software y al valor de nuestra área superficial, obtenemos un Borde Libre de 0.5 m.

ÁREA TOTAL DEL REACTOR RAFA + LAGUNA FACULTATIVA

Según el software, de acuerdo a los datos ya calculados, se obtiene un Área Total del Reactor RAFA + Laguna Facultativa es de 4387.492 m^2 .

Con esto se culmina el diseño de Reactor RAFA + Laguna Facultativa, todas las dimensiones anteriormente calculadas están resumidas en la Figura 24, que es el resultado gráfico final de Reactor RAFA + Laguna Facultativa realizado por el software “PTAR DISEÑO” para la “PTAR Laberinto”.

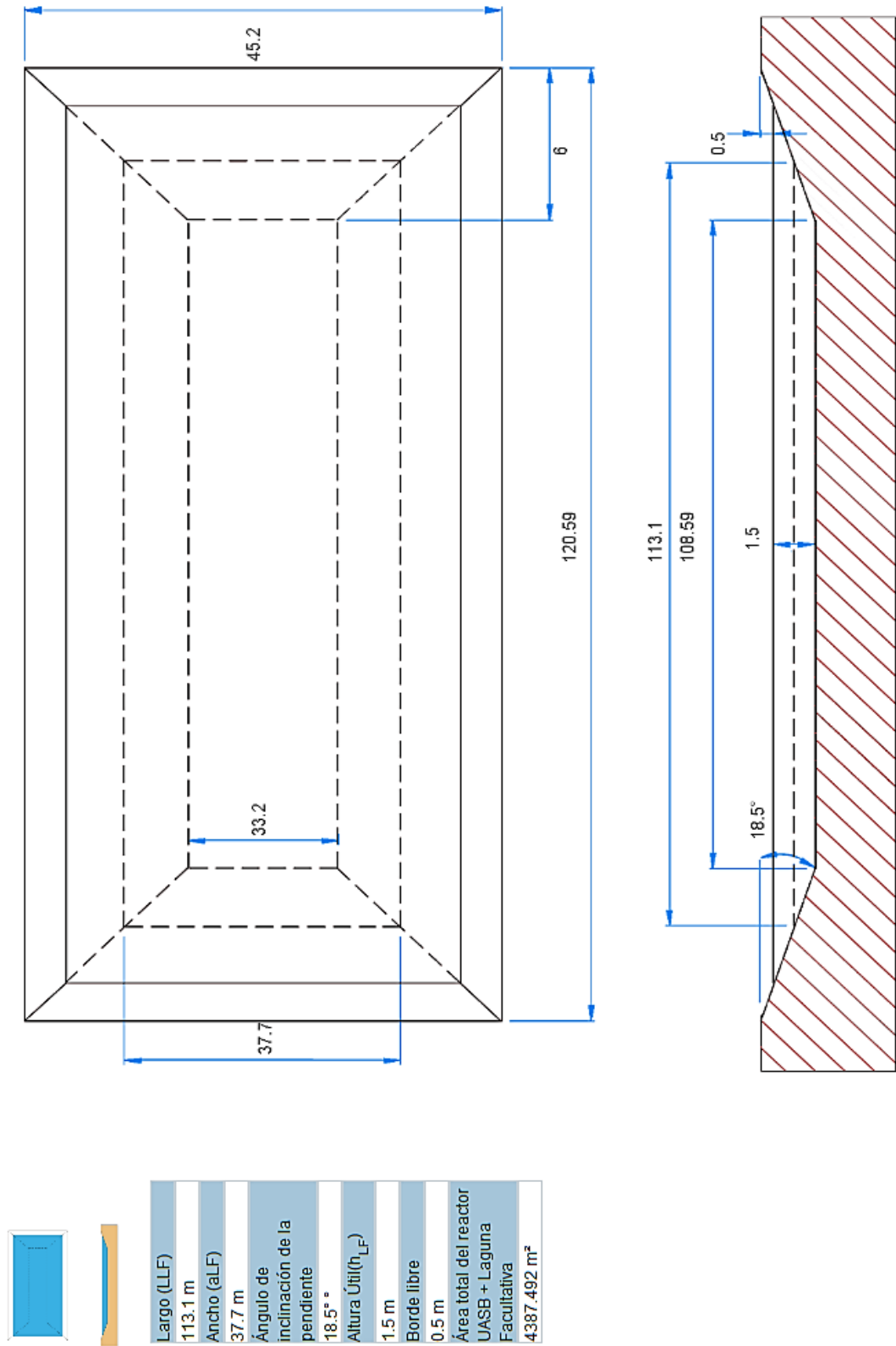
Figura 23

Ejemplo gráfico de Laguna Facultativa



NOTA: (Greydanus, n.d.)

Figura 24
Resultados gráficos del diseño de Laguna Facultativa elaborado por el software "PTAR DISEÑO"



NOTA: Software "PTAR DISEÑO"

© PTAR Diseño
Tecnología UASB + Laguna Facultativa
Esquema adaptado de Mendonça, 2000



PASO 9: DISEÑO TRATAMIENTO BIOLÓGICO – REACTOR RAFA + FILTRO PERCOLADOR

Este paso se asemeja al anterior, ya que analizaremos otro tipo de proceso secundario que se pudo haber aplicado en el proyecto el cual es: Reactor RAFA + Filtro Percolador. Analizaremos en el software: la cantidad de carga orgánica volumétrica (C_v), la verificación de la tasa o carga hidráulica superficial (q_s), cálculo del diámetro del filtro percolador, eficiencia de remoción de DQO y/o DBO del filtro percolador (EFP), concentración de DQO en el efluente final del sistema de tratamiento y diseño de un sedimentador secundario. El software nos permite analizar este paso con la información ya calculada para el diseño de la “PTAR Laberinto”.

FILTRO PERCOLADOR

“Un Filtro Percolador es un filtro biológico de lecho fijo que opera bajo condiciones (principalmente) aeróbicas. Se “deja caer” o rocía agua de desecho decantada sobre el filtro. Al migrar el agua por los poros del filtro, la materia orgánica se degrada por la biomasa que cubre el material del filtro. El Filtro Percolador se llena con material de alta superficie específica, tales como piedras, grava, botellas de PVC trituradas, o material filtrante preformado especialmente. Preferiblemente debe ser un material con una superficie específica de entre 30 y 900 m^2/m^3 . Para prevenir obstrucciones y asegurar un tratamiento eficiente es esencial un pretratamiento. El agua residual pre-tratada se “deja caer” sobre la superficie del filtro. Los organismos que se desarrollan en una delgada capa en la superficie del material oxidan la carga orgánica produciendo dióxido de carbono y agua, generando nueva biomasa. El agua residual entrante es rociada sobre el filtro con el uso de un rociador rotatorio. De esta manera, el material del filtro pasa por ciclos de saturación y de exposición al aire. Sin embargo, el oxígeno se reduce en la biomasa y las capas más internas pueden ser



anóxicas o anaeróbicas. El filtro normalmente tiene de 1 a 3 m de profundidad, pero los filtros hechos con material plástico más ligero pueden ser de hasta 12 m de profundidad. El material ideal para el filtro tiene una elevada relación superficie/volumen, es ligero, duradero y permite que el aire circule. Siempre que estén disponibles, las piedras trituradas o la grava son la opción más económica. Las partículas deben ser uniformes de manera que el 95% de las partículas tengan un diámetro entre 7 y 10 cm. Ambos extremos del filtro están ventilados para permitir que el oxígeno pase a lo largo de su superficie. Una losa perforada sostiene el fondo del filtro y permite que el efluente y el exceso de lodo se recolecten. El efluente recolectado debe ser clarificado en un tanque de sedimentación para eliminar cualquier biomasa que se haya desprendido del filtro”. (Chobanoglous, G., Burton, F L. & Stensel, H D. 2003).

Los pros y contras/limitaciones para este tratamiento, se presentan en la Tabla 26:

Tabla 26

Pros y Contras en el tratamiento secundario de Filtro Percolador

PROS	CONTRAS/LIMITACIONES
- Se puede operar varios índices de carga orgánica e hidráulica.	- Alto costo de capital y moderado costo de operación. - Requiere diseño y construcción expertos
- Se requiere una pequeña área en comparación con los humedales artificiales	- Requiere fuente constante de energía y flujo constante de aguas residuales. - A menudo las moscas y olores son problemáticos. - No todas las piezas y materiales pueden estar disponibles localmente. - Se requiere pre-tratamiento para prevenir las obstrucciones. - El sistema de dosificación requiere una ingeniería más compleja.

NOTA: U.S. EPA (2000). Wastewater Technology Fast Sheet Trickling Filters, 832-F-00-014. US Environmental Protection Agency, Washington.



DIMENSIONAMIENTO DE FILTRO PERCOLADOR “PTAR LABERINTO” MEDIANTE EL SOFTWARE “PTAR DISEÑO”

Los filtros percoladores son unidades de tratamiento secundario del tipo biológico con medio adherido o asistido. Para poder comenzar con el diseño de este tratamiento, el software toma como referencia los siguientes datos ya calculados anteriormente, los cuales son:

$$Q_{\text{MED}} = 0.0139 \text{ m}^3/\text{s} = 1194.47 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{\text{MAX}} = 0.0242 \text{ m}^3/\text{s} = 2085.88 \text{ m}^3/\text{día}$$

Estimación de la concentración de DBO en el afluente (S) = 124.9 mg/L

SELECCIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA (C_v)

Se refiere a la cantidad de materia orgánica aplicada diariamente al filtro, por unidad de volumen del medio de soporte, se recomienda un rango entre 0.5 a 1.0 kg DBO/m³*día (**Chernicharo, 2007, p. 352**). Dependiendo de la capacidad o carga orgánica aplicada sobre los filtros y el medio de soporte empleado, la carga orgánica volumétrica (C_v) puede ser (**Jordao & Pessoa, 2011, p. 483**):

- Filtros de baja tasa y medio de soporte de piedra: menor a 0.3 Kg DBO/m³*día
- Filtros de tasa intermedia y medio de soporte de piedra: 0.2 – 0.5 Kg DBO/m³*día
- Filtros de alta tasa y medio de soporte de piedra: menor a 1.2 Kg DBO/m³*día
- Filtros de alta tasa con medio de soporte sintético: menor a 3.0 Kg DBO/m³*día

La C_v puede calcularse mediante la siguiente ecuación (**Chernicharo, 2007, p. 343**):

$$C_v = \frac{Q_{\text{med}} \times S_o}{V} = \frac{1194.4664 \times 0.1249}{186.49} = 0.8 \text{ Kg DBO/m}^3 * \text{ día}$$

Donde: C_v = Carga orgánica volumétrica (Kg DBO/m³*día)

Q_{MED} = Caudal medio afluente (m³/día)

S_o = Concentración de DBO en el agua residual afluente (Kg DBO/m³)

V = Volumen ocupado por el medio de soporte (m³)

Por lo tanto, se obtiene una Carga Orgánica Volumétrica (C_v) de 0.8 Kg DBO/m³*día.

CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL MEDIO DE SOPORTE (V)

El volumen puede ser calculado a partir de la carga orgánica volumétrica (C_v), así

(Chernicharo, 2007, p. 343):

$$V = \frac{Q_{med} \times S_o}{C_v} = \frac{1194.4664 \times 0.1249}{0.8} = 186.49 \text{ m}^3$$

Donde: V = Volumen ocupado por el medio de soporte (m^3)

C_v = Carga orgánica volumétrica ($\text{Kg DBO}/\text{m}^3 \cdot \text{día}$)

Q_{MED} = Caudal medio afluente ($\text{m}^3/\text{día}$)

S_o = Concentración de DBO o DQO en el agua residual afluente ($\text{Kg DBO}/\text{m}^3$) = S_{UASB}

Por lo tanto, se obtiene un Volumen del Medio de Soporte (V) de 186.49 m^3 .

PROFUNDIDAD DEL MEDIO DE SOPORTE (H)

Se recomienda una profundidad entre 2.0 a 3.0 m (Mara, 2003, p. 207) sin embargo, esta puede variar dependiendo de la carga o tasa del filtro, así:

- Baja carga con medio de soporte de piedra: 1.5 – 3.0 m
- Carga intermedia y alta con medio de soporte de piedra: 1.5 a 2.5 m
- Alta carga con medio de soporte sintético: 4.0 a 12 m

Al encontrarse nuestra carga orgánica volumétrica (C_v) en un filtro de alta tasa y medio de soporte de piedra, siendo esta una carga intermedia es que hacemos el siguiente análisis:

Se calcula este valor con un promedio de baja carga con medio de soporte de piedra, carga intermedia y alta con medio de soporte de piedra, por lo cual según el software obtenemos una Profundidad del Medio de Soporte (H) de 2.5 m.

CÁLCULO DEL ÁREA SUPERFICIAL (A)

Corresponde al cálculo del área por filtro percolador que es: 37.297 m^2 , para este caso, al considerarse dos filtros se tiene un área superficial de: 37.297 x 2 = 74.6 m^2 .

El software, hace un cálculo de Área Superficial (A) de 74.6 m^2 .

VERIFICACIÓN DE LA TASA O CARGA HIDRÁULICA SUPERFICIAL (q_s)

La tasa o carga hidráulica superficial se refiere a la cantidad de agua residual aplicada diariamente al filtro percolador, por unidad de área del medio de soporte y se calcula así (Chernicharo 2007, p. 342):

$$\text{Para } Q_{med}; q_s = \frac{Q_{med}}{A} = \frac{1194.47}{74.6} = 16.02 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{día}$$

$$\text{Para } Q_{máx}; q_s = \frac{Q_{máx}}{A} = \frac{2085.88}{74.6} = 27.97 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{día}$$

Donde:
 q_s = Tasa o carga hidráulica superficial ($\text{m}^3/\text{m}^2*\text{día}$)
 Q = Caudal afluente al filtro percolador ($\text{m}^3/\text{día}$)
 A = Área superficial libre del medio de soporte (m^2)

Se recomiendan los siguientes rangos en función del caudal de operación (Chernicharo, 2007, p. 352):

- Para Caudal medio: 15 a 18 $\text{m}^3/\text{m}^2*\text{día}$
- Para Caudal máximo diario: 18 a 22 $\text{m}^3/\text{m}^2*\text{día}$
- Para Caudal máximo horario: 25 a 30 $\text{m}^3/\text{m}^2*\text{día}$

De acuerdo con la capacidad del filtro y el tipo de medio de soporte, la carga hidráulica superficial puede variar de la siguiente manera (Jordao, E & C. Pessoa, 2011, p. 483):

- Filtro de baja carga con medio de soporte de piedra: menor a 5.0 $\text{m}^3/\text{m}^2*\text{día}$
- Filtro de carga intermedia y medio de soporte de piedra: 4.0 – 10.0 $\text{m}^3/\text{m}^2*\text{día}$
- Filtros de alta tasa y medio de soporte de piedra: 10.0 – 50.0 $\text{m}^3/\text{m}^2*\text{día}$
- Filtros de alta tasa con medio de soporte sintético: 10.0 – 75.0 $\text{m}^3/\text{m}^2*\text{día}$

Por lo tanto, se obtiene una Carga Hidráulica Superficial (q_s) para un Q_{med} y $Q_{máx}$ de 16.02 y 27.97 $\text{m}^3/\text{m}^2*\text{día}$ respectivamente.

CÁLCULO DEL DIÁMETRO DEL FILTRO PERCOLADOR

Según el software, hace un cálculo de:



- Número de unidades o filtros (n) = 2
- Área por filtro (a) = 37.297 m²
- Diámetro por filtro (D) = 6.9 m

EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DQO y/o DBO DEL FILTRO PERCOLADOR (EFP)

En experiencias prácticas se ha encontrado que la eficiencia esperada en un filtro percolador usado como post-tratamiento de un reactor RAFA, es del orden de 60%. También puede ser estimada de acuerdo con la siguiente ecuación (Chernicharo, 2007., p. 355):

$$E_{DQO} = \frac{1}{1 + (0.443 * (\sqrt{\frac{W}{V} * F}))} = \frac{1}{1 + (0.443 * (\sqrt{(\frac{274.4}{186.49} * 1))})} = 66.8 \%$$

$$E_{DBO} = \frac{1}{1 + (0.443 * (\sqrt{\frac{W}{V} * F}))} = \frac{1}{1 + (0.443 * (\sqrt{(\frac{149.8}{186.49} * 1))})} = 71.7 \%$$

Donde: E_{DBO} = Eficiencia en términos de remoción de DBO (%)
 w = Carga orgánica aplicada (Kg DBO/día)
 V = Volumen del medio de soporte (m³)
 F = Factor de recirculación = 1 (sin recirculación)

Todos estos datos nos permitirán hacer una comparación de eficiencia de remoción.

Por lo tanto, se obtiene una Eficiencia de Remoción E_{DQO} y E_{DBO} de 66.8 y 71.7 % respectivamente.

CONCENTRACIÓN DE DQO EN EL EFLUENTE FINAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO R. RAFA + Filtro p. (Sfinal)

De acuerdo a los cálculos realizados, el software logra obtener la concentración final de DQO y DBO en el sistema de tratamiento R. RAFA + Filtro Percolador, los resultados son los siguientes:

- DQO = 65.51 mg/L
- DBO = 35.445 mg/L

ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LODO (Plodo)

La producción de lodos en filtros percoladores se puede estimar mediante la siguiente ecuación (**Chernicharo, 2007., p. 351 – 352**):

$$P_{lodo} = Y \times (L_0 - L_e) = 85.48 \text{ kg SST/día}$$

Donde: P_{LODO} = Producción de sólidos en el filtro percolador (kg SST/día)
 Y = Coeficiente de sólidos en el filtro percolador (0.8 – 1.0 kg SST/kg DBO_{REMOVIDA})
 L_0 = Carga de DBO afluente al filtro percolador (kg DBO/día)
 L_e = Carga de DBO en el efluente del filtro percolador (kg DBO/día)

Se obtiene, una Estimación de Producción de Lodo (P_{LODO}) de 85.48 kg SST/día.

PRODUCCIÓN VOLUMÉTRICA DE LODO (Vlodo)

La producción volumétrica de lodo se puede calcular así (**Chernicharo, 2007., p. 351 – 352**):

$$V_{lodo} = \frac{P_{lodo}}{r \times C_{lodo}} = \frac{85.48}{1.02 \times 1.1} = 8.39 \text{ m}^3/\text{día}$$

Donde: V_{LODO} = Producción volumétrica de lodo en el filtro percolador (m³/día)
 r = Masa específica del lodo (usualmente 1.000 a 1.040 kg/m³)
 C_{LODO} = Concentración del lodo removido hacia el sedimentador secundario (usualmente entre 0.8 a 1.5%)

Se obtiene, una Producción Volumétrica de Lodo de 8.39 m³/día

La cantidad de lodos activados producidos depende del peso de los sólidos del lodo y de su concentración.

DISEÑO DEL SEDIMENTADOR SECUNDARIO

- **TASA DE ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL (qs):** Se recomienda una tasa de escurrimiento superficial para el sedimentador secundario entre 20 a 30 m³/m²*día (**Chernicharo, 2007., p. 356**). Es por ello que se asume un promedio de una Tasa de Escurrimiento Superficial (qs) de 25 m³/m²*día.

- **ÁREA DEL SEDIMENTADOR (As):** Según el software, para la dotación de agua al Filtro Percolador y la remoción de DBO y DQO eficientes, se calcula un Área del Sedimentador (As) de 47.779 m².
- **PROFUNDIDAD DEL SEDIMENTADOR (Hsed):** La profundidad del sedimentador está en función a la tasa de escurrimiento superficial tanto para Q_{MAX} y Q_{MED}. Estos datos se encuentran resumidos en la Tabla 27 (**Chernicharo, 2007**).

Tabla 27

Tasa de Escurrimiento superficial y profundidades para sedimentadores secundarios de filtros percoladores

PROFUNDIDAD JUNTO A PARED (m)	TASA DE ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL (m ³ /m ² *día)	
	Para Qmed	Para Qmax
2.5	14	28
3	19	38
3.5	24	48
4	27	54
4.5	30	60

NOTA: Chernicharo. C., (2007)

Según la Tabla 27, y de acuerdo a nuestros datos para nuestra Tasa de Escurrimiento Superficial para el Qmed y Qmáx ya calculados, es que se interpreta una Profundidad del Sedimentador (Hsed) de 3.5 m.

- **NÚMERO DE UNIDADES DE SEDIMENTACIÓN (n):** El número de unidades de sedimentación en el diseño, que calcula el software y el cual se considera propio por la capacidad de almacenaje, remoción de DBO y DQO del afluyente y efluente, producción de lodos, etc., es de: Número de Unidades de Sedimentación (n) = 2.

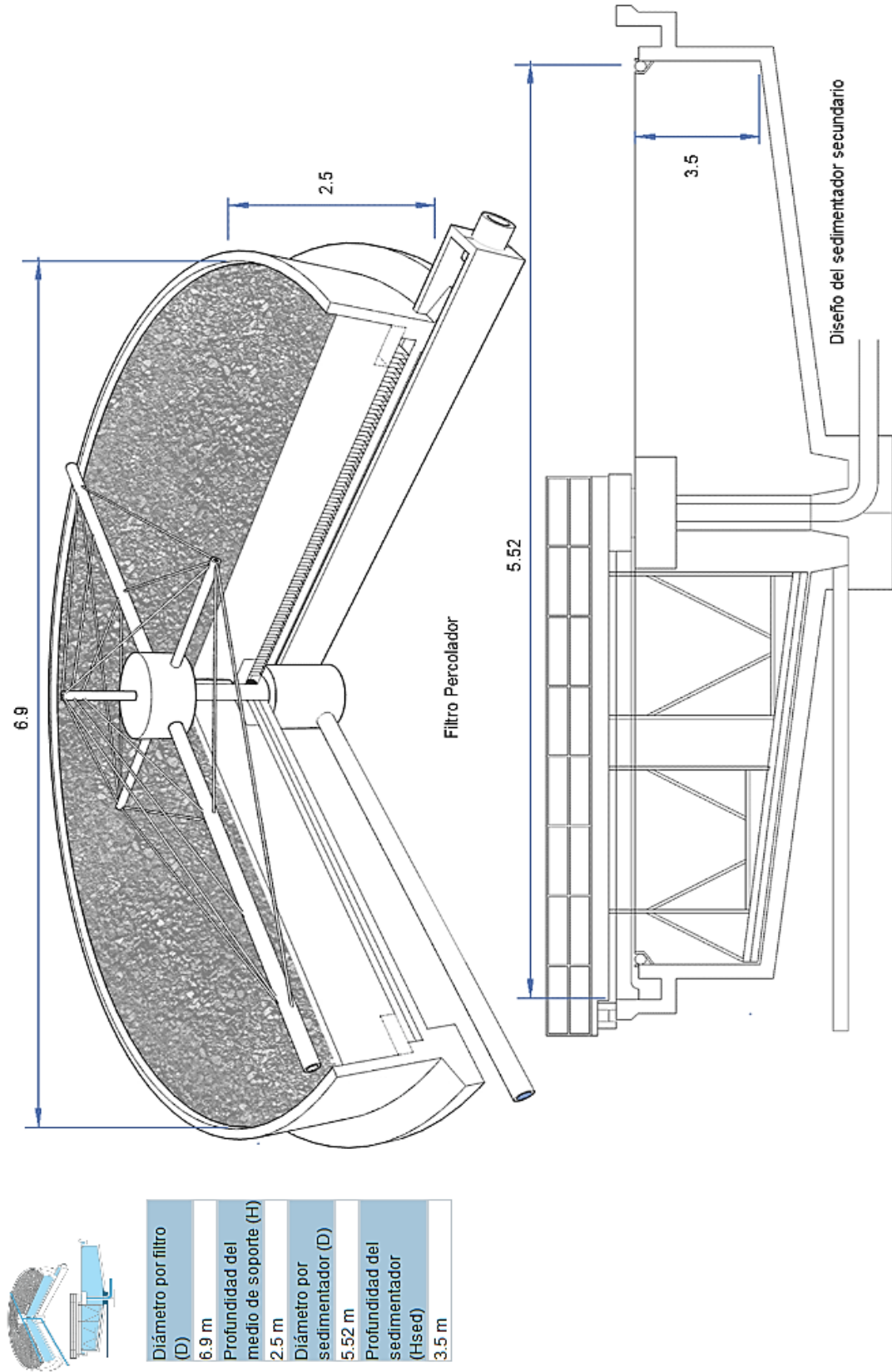


- **ÁREA POR SEDIMENTADOR (as):** El área por sedimentador de acuerdo a las dimensiones calculadas anteriormente, tipo de material filtrante, volumen de agua, es de: Área por sedimentador (as) = 23.89 m².
- **DIÁMETRO POR SEDIMENTADOR (D):** Según el software, esta dimensión depende de la cantidad de sólidos que fue removida, el diámetro de las partículas, su velocidad, etc. Se calcula un Diámetro por Sedimentador (D) = 5.52 m.
- **ESTIMACIÓN DE ÁREA ÚTIL REQUERIDA PARA LA TECNOLOGÍA REACTOR RAFA + FILTRO PERCOLADOR**

El área útil total para el buen funcionamiento para la tecnología de Reactor RAFA + Filtro Percolador es, según el software, de Área Útil = 247.38 m².

Con esto se culmina el diseño de la tecnología Reactor RAFA + Filtro Percolador, todas las dimensiones anteriormente calculadas están resumidas en la Figura 25, que es el resultado gráfico final de Reactor RAFA + Filtro Percolador realizado por el software “PTAR DISEÑO” para la “PTAR Laberinto”.

Figura 25
Resultados gráficos del diseño de Filtro Percolador elaborado por el software "PTAR DISEÑO"



© PTAR Diseño

Tecnología UASB + Filtro Percolador
Esquema adaptado de Chernicharo, 2007.

NOTA: Software "PTAR DISEÑO"



PASO 10: DISEÑO TRATAMIENTO BIOLÓGICO – REACTOR RAFA + LODOS ACTIVADOS MOD. CONVENCIONAL

Este paso, al igual que los anteriores, es un proceso que se complementa al RAFA y que también, de acuerdo a sus características se pudo aplicar en el proyecto “PTAR Laberinto”, en este paso analizaremos los siguientes puntos para su respectivo diseño: Tanque de aireación, cálculo de la DBO soluble en el efluente y la eficiencia de remoción de DBO, cálculo del volumen de lodo del tanque de aireación (V_{TA}) y tiempo de retención hidráulico (TRH), cálculo del área superficial del tanque de aireación (A_{TA}), sedimentador secundario y verificación de la tasa de aplicación de sólidos en función de la masa de sólidos proveniente del tanque de aireación afluente al sedimentador.

LODOS ACTIVADOS

“El proceso de lodos activados es un proceso biológico, también conocido como bioproceso, que permite el desarrollo de una depuración de origen natural en la que los microorganismos son capaces de devolver -depurar- agua contaminada a su estado natural. Esto se logra a través de lo que se conoce como tratamiento o proceso aerobio, a través de la aireación prolongada y la recirculación de fangos activos que elimina las sustancias biodegradables que están disueltas en el agua residual”. (Andrews J.F, 2011).

“Es decir, un cultivo de microorganismos es mezclado con la materia orgánica del agua y éstos encuentran en estas sustancias su alimento”. Además, esta aireación y agitación, al ser un procedimiento mecánico, produce el oxígeno que estos microorganismos necesitan para llevar a cabo su actividad. Para ello es clave contar con equipos de aireación prolongada, ya que se trata de una de las mejores soluciones para tratar agua residual en pequeñas o medianas poblaciones”. (Andrews J. F, 2011).



“De este modo, se produce un proceso metabólico y los microorganismos se encargan de transformar los contaminantes biológicos en biomasa, dióxido de carbono y agua. Además, los microorganismos eliminan también compuestos como el amonio y otros compuestos nitrogenados. Se consigue así un clarificado, agua sin materia orgánica. Los microorganismos, por tanto, oxidan la materia orgánica disuelta y las partículas en suspensión y los coloides se coagulan y forman sedimento. En este sentido, los sistemas basados en procesos de oxidación avanzada, gracias a productos orgánicos tóxicos o de difícil degradación, son un instrumento adecuado ya que implican determinados compuestos con alto potencial de oxidación que actúan como iniciadores de este proceso”. (Andrews J. F, 2011).

“Todo este proceso biológico se lleva a cabo en un primer tanque conocido como reactor biológico, donde se produce la agitación y aireación del agua residual. Posteriormente, se lleva a cabo un tratamiento secundario, en el que la parte superior de esta agua, ya clarificada, es re-oxigenado y filtrado para su posterior reutilización”. (Andrews J. F, 2011).

“Como resultado del metabolismo se agrupan en flóculos, agregados de materia por sedimentación, que constituyen el llamado lodo activado, siendo una parte devuelta al primer tanque para compensar la pérdida de biomasa. Mientras, en la parte inferior quedan lo que llamamos lodos o fangos, que son compactado o derivado hacia otros fondos en el caso de que se destinen al enriquecimiento de microorganismos activos a modo de cultivo mixto. Este segundo procedimiento se lleva a cabo en el decantador secundario”. (Andrews J. F, 2011).

Esta vendría a ser una tecnología complementaria al reactor RAFA en el diseño de la “PTAR Laberinto” en la cual se van a diseñar todos los componentes ya mencionados anteriormente en base a todos los parámetros que maneja el software, al



final se podrá llegar a concluir si este proceso es conveniente o no dentro del diseño, priorizando la remoción de material contaminante.

DIMENSIONAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS MOD. CONVENCIONAL “PTAR LABERINTO” MEDIANTE EL SOFTWARE “PTAR DISEÑO”

Para poder comenzar con el diseño de este tratamiento, el software toma como referencia los siguientes datos ya calculados anteriormente, los cuales son:

$$Q_{MED} = 0.0139 \text{ m}^3/\text{s} = 1194.47 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO}_5) = 124.9 \text{ mg/L o g/m}^3$$

$$\text{Relación SSV/SST en el afluente} = 0.75$$

TANQUE DE AIREACIÓN

- DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DESEADA EN EL EFLUENTE (DBOe):

Usualmente la DBO₅ en el agua residual doméstica varía entre 100 y 400 mg/L; dependiendo de las características del agua y el tipo de tratamiento secundario, se espera una reducción de la DBO hasta un nivel entre 20 a 30 mg/L. Este valor puede establecerse según la reglamentación local, por ejemplo, en ciudades como Río de Janeiro (Brasil) el límite es 40 mg/L, en Minas Gerais, Paraná y Sao Paulo se admite hasta 60 mg/L (**Jordao, E. & C. Pessoa, 2011, p. 29**). En Colombia de donde proviene el software hasta 90 mg/L si se descarga al alcantarillado y 70 mg/L si se descarga a un cuerpo de agua (**MADS, 2015**) y en el caso del Perú, según la Norma OS.090 (Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales), la remoción de la DBO para el tratamiento de Lodos Activados es estimada en un 70 - 95 %.

Al hacer el cálculo, basado en la normativa peruana (**Norma OS.090**), es decir, un 70% de reducción de DBO en el efluente, se estima que la Demanda Bioquímica de Oxígeno Deseada en el Efluente (DBOe) será de 30 mg/L.



- **SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES DESEADO EN EL EFLUENTE**

(Xe):

La concentración típica de Sólidos Suspendedos Totales en el agua residual doméstica oscila entre 120 a 360 mg/L, y en el efluente tratado es alrededor de 30 mg/L. (Jordao, E. & C. Pessoa, 2011, p. 33). La reglamentación colombiana limita en el efluente valores hasta de 90 mg/L si se descarga al alcantarillado y 70 mg/L si se descarga a un cuerpo de agua (MADS, 2015).

De acuerdo a la normativa peruana (Norma OS.090) en el apartado 4.3.13, menciona que, para la modalidad de lodos activados se espera una remoción de sólidos en suspensión de 70 – 95 %, es por ello que, de acuerdo a esta reglamentación peruana, se asumió el valor para Sólidos Suspendedos Totales Deseado en el Efluente (Xe) de 30 mg/L.

- **RELACIÓN gDBO/gSST EN EL EFLUENTE:**

La relación será la siguiente:

$$\frac{gDBO}{gSST} = \frac{30 \text{ mg/L}}{30 \text{ mg/L}} = 1$$

Se obtiene una Relación en el Efluente gDBO/gSST de 1.

- **SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN EL LODO (LICOR MIXTO)
DEL TANQUE DE AIREACIÓN – SSTA (Xa):**

El proceso de lodos activados en la modalidad convencional debe operar con una concentración de sólidos suspendidos totales en el tanque de aireación (SSTA) en un rango entre 1500 y 2000 mg/L. (Jordao, E. & C. Pessoa, 2011, p. 523; Metcalf & Eddy, 2003, p. 747).

Es por ello que asumimos este valor, de acuerdo a la información de Sólidos Suspendedos Totales en el Lodo (Licor Mixto) del Tanque de Aireación – SSTA (Xa) de 1500 mg/L.



- **SÓLIDOS DEL LODO RECIRCULADO (X_u):**

La concentración de lodo recirculado (X_u) varía usualmente entre 3000 y 4000 mg/L en un sistema de lodos activados usado como post-tratamiento de un reactor RAFA (von Sperling et al., 2001. Tabla 5.5).

Se asume que, con la información previamente analizada por el software, y al comparar con otras fuentes bibliográficas para sistemas de post-tratamiento de lodos activados, tener una Concentración de Lodo Recirculado de 3000 mg/L.

- **COEFICIENTE DE PRODUCCIÓN CELULAR (Y):**

Una fracción de la materia orgánica es sintetizada en nuevas células produciendo un aumento de la masa de microorganismos y otra fracción de células será destruida en la fase de respiración endógena o auto-oxidación. La fracción correspondiente a la fase de síntesis se conoce como coeficiente de producción celular “Y”, siendo igual a la tasa de conversión de sustrato utilizado por los microorganismos (masa de microorganismos/masa de sustrato utilizado). El coeficiente “Y” puede ser determinado experimentalmente en el laboratorio, sin embargo, se ha encontrado que puede variar entre 0.40 a 0.50 mgSSV/mgDBO (Jordao, E. & C. Pessoa, 2011, p. 553).

Es por ello que asumimos, según a la variación de sustrato utilizado para este caso, un Coeficiente de Producción Celular (Y) de 0.4 mgSSV/mgDBO.

- **TASA ESPECÍFICA DE RESPIRACIÓN ENDÓGENA (K_d):**

La tasa específica de respiración endógena corresponde a la fracción de células destruidas en la fase de auto-oxidación o respiración endógena y puede ser determinada experimentalmente en el laboratorio; el valor de K_d puede variar entre 0.05 a 0.10 mgSSV/mgDBO (Jordao, E. & C. Pessoa, 2011, p. 551-553).



Es por ello que, según el software, se asume una fracción de células destruidas promedio a 0.05 y 0.10 la cual es una Tasa Específica de Respiración Endógena (Kd) de 0.07 mgSSV/mgDBO.

- **EDAD DEL LODO (θ_c):**

En el proceso de lodos activados como post-tratamiento de un reactor RAFA se recomienda un tiempo de retención celular entre 6 y 10 días. (Jordao, E. & C. Pessoa, 2011, p. 523; Metcalf & Eddy, 2003, p. 747).

Se calcula, de acuerdo a los parámetros de la DBO y al software, que tendremos un Edad del Lodo (θ_c) = 8 días.

- **CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE PRODUCCIÓN CELULAR AJUSTADO POR LA PÉRDIDA POR RESPIRACIÓN ENDÓGENA (Yobs):**

El valor de Yobs corresponde al coeficiente de producción “Y” corregido por la fracción de auto-oxidación o respiración endógena, existiendo la siguiente relación entre “Y” y Yobs (Jordao, E. & C. Pessoa, 2011, p. 556):

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + Kd * \theta_c} = \frac{0.4}{1 + 0.07 * 8} = 0.257 \text{ mgSSV/mgDBO}$$

Donde: Y = Coeficiente de producción celular (mgSSV/mgDBO)

Kd = Tasa específica de respiración endógena (d^{-1})

θ_c = Tiempo de retención celular (días)

Por lo tanto, se obtiene un Coeficiente de Producción Celular Ajustado por la Pérdida por Respiración Endógena de 0.257 mgSSV/mgDBO.

CÁLCULO DE LA DBO SOLUBLE EN EL EFLUENTE Y LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DBO

La DBO en el efluente (DBOe) está constituida por una fracción particulada (Sp) y otra soluble (Se). La DBO particulada puede determinarse multiplicando la concentración de SST en el efluente y la relación DBO/SST. La DBO soluble se



obtiene por diferencia entre la DBO en el efluente y la particulada (**Jordao, E. & C. Pessoa, 2011, p. 558**).

Es por ello que, de acuerdo a los datos anteriormente calculados, obtenemos los siguientes resultados:

- DBO particulada (S_p) = 30 mg/L
- DBO soluble (S_e) = 0 mg/L
- Eficiencia de remoción de DBO soluble = 100 %
- Eficiencia global de remoción de DBO = 76 %

Todos estos datos de remoción de DBO, serán referentes para los siguientes cálculos.

- **CÁLCULO DE PRODUCCIÓN DE LODO ESPERADA - ΔX :**

La producción final de lodo ΔX corresponde a la ganancia ΔX_1 de microorganismos en la fase de síntesis, menos la pérdida ΔX_2 durante la fase de respiración endógena, y puede expresarse así (**Jordao, E. & C. Pessoa, 2011, p. 555**):

$$\Delta X = (Y * (S_o - S_e) * Q) - (K_d * X_{av} * V) = 38.3 \text{ kg SV/d}$$

Donde: Y = Coeficiente de producción celular (mgSSV/mgDBO)

S_o = Concentración de DBO en el afluente (kg/m³)

S_e = Concentración de DBO en el efluente, soluble (kg/m³)

Q = Caudal medio diario (m³/d)

K_d = Tasa específica de respiración endógena (d⁻¹)

X_{av} = Sólidos suspendidos volátiles en el licor mixto = X_a *relación SSV/SST afluente)
(kg/m³)

V = Volumen al tanque de aireación (m³)

En régimen continuo esta producción equivale a una cantidad de sólidos que debe ser descartada del sistema con el fin de garantizar una concentración constante en el tanque de aireación. Algunos autores simplifican la producción de final líquida de lodo así (**Jordao, E. & C. Pessoa, 2011, p. 555**):



$$\Delta X_T = (Y_{obs} * (S_o - S_e) * Q) = 76.6 \text{ kg ST/d (ecuación usada en el software)}$$

Donde: S_o = Concentración de DBO en el afluente (kg/m^3)

S_e = Concentración de DBO en el efluente, soluble (kg/m^3)

Q = Caudal medio diario (m^3/d)

Y_{obs} = Coeficiente de producción celular ajustado por respiración endógena
(mgSSV/mgDBO)

Por lo tanto, se obtiene una Producción de Lodo Esperada (ΔX) de 38.3 kg SV/d y 76.6 kg ST/d.

Las principales formas de aprovechamiento en la producción de lodos, son como fuente de energía o mejoradores de suelo en la agricultura.

- CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LODO PURGADO POR DÍA (V_{LODO}):

Se asume que la masa de lodo a ser descartado (M) es igual a la masa de lodo generada (ΔX_T), que el contenido de sólidos (TS) en el lodo de exceso es de 0.8% y una densidad (p) prácticamente de 1.0, por lo tanto, el volumen de lodo diario a ser descartado se puede calcular así (Jordao, E. & C. Pessoa, 2011, p. 558):

$$V_{\text{lodo}} = \frac{M}{TS * p} = \frac{76.6}{0.8 * 1} = 9.57 \text{ m}^3/\text{día}$$

Se obtiene, un Volumen de Lodo Purgado por Día (V_{LODO}) de 9.57 $\text{m}^3/\text{día}$.

CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LODO DEL TANQUE DE AIREACIÓN (V_{TA}) Y TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO (TRH)

- VOLUMEN DE LODO DEL TANQUE DE AIREACIÓN:

El cálculo de Volumen de Lodo, según el software, se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_{\text{TA}} = \frac{\theta_c * Y * Q(S_o - S_e)}{X_{av} * (1 + K_d * \theta_c)} = 408.04 \text{ m}^3$$

Donde: θ_c = Tiempo de retención celular (días)

Y = Coeficiente de producción celular (mgSSV/mgDBO)



Q = Caudal afluente (m^3/d)

S_o = Concentración de DBO en el afluente (mg/L)

S_e = Concentración de DBO en el efluente, soluble (mg/L)

X_{av} = Sólidos suspendidos volátiles en el licor mixto (= X_a *relación SSV/SST afluente) (mg/L)

K_d = Volumen del tanque de aireación (m^3)

Se obtiene, un Volumen de Lodo del Tanque de Aireación (V_{TA}) de $408.04 m^3$.

Este valor es importante para el diseño de los reactores biológicos y para determinar la purga de lodos del sistema. (Metcalf & Eddy, 1996).

- **TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO (TRH):**

Para el sistema de lodos activados, modalidad convencional usado como post-tratamiento de un reactor RAFA se recomiendan tiempos de retención hidráulicos, entre 3 y 9 horas. (von Sperling et al., 2001. Tabla 5.5).

Es por ello que, de acuerdo al volumen de lodos y producción de lodos, se estima que el Tiempo de Retención Hidráulico será de 8.2 horas.

CÁLCULO DEL ÁREA SUPERFICIAL DEL TANQUE DE AIREACIÓN (A_{TA})

Construir mínimo dos tanques de aireación en paralelo con su respectivo sedimentador secundario para permitir flexibilidad operacional a partir de caudales mayores de 100 L/s ($8640 m^3/día$) y se puede emplear una relación Largo/ancho = 4 (Jordao, E. & C. Pessoa, 2011, p. 584).

- **PROFUNDIDAD DEL TANQUE DE AIREACIÓN (H_{TA}):**

La profundidad del tanque de aireación debe ser compatible con el sistema de aireación, siendo usual un rango entre 3 a 5 metros para aireación mecánica y 4 a 6 metros para aireación difusa (Jordao, E. & C. Pessoa, 2011, p. 585).

En los sistemas de aireación difusa, el agua se colecta en depósitos con difusores en sus bases. El aire comprimido se fuerza al interior del sistema a través de los difusores. Este aire forma burbujas a través del agua, mezclando el agua y el aire y

transfiriendo los contaminantes del agua al aire o, más a menudo, introduciendo oxígeno en el agua.

Los sistemas de aireación mecánica son sumamente sencillos, pero no se encuentran entre las técnicas de purificación más frecuentes. Estos aireadores funcionan agitando vigorosamente el agua fuente con mezcladoras mecánicas. Cuando el agua se agita, recibe la infusión del aire purificador.

Al ser nuestro sistema de aireación difusa es que, el software hace el cálculo de las dimensiones del Tanque de Aireación, el cual se detalla a continuación:

- Profundidad del tanque de aireación (H_{TA}) = 4 m
- Área superficial (A_{TA}) = 102.01 m²
- Ancho del tanque de aireación = 7.15 m
- Longitud del tanque de aireación = 14.29 m
- **CÁLCULO DE LA RELACIÓN ALIMENTO/MICROORGANISMOS (A/M):**

Para el sistema de lodos activados, modalidad convencional se recomienda una relación Alimento/Microorganismos (A/M) entre 0.2 – 0.6 kg DBO/kg SSV y puede calcularse mediante la siguiente expresión (**Jordao, E. & C. Pessoa, 2011**):

$$\frac{A}{M} = \frac{Q_{med} * (S_o - S_e)}{X_{av} * V_{TA}} = \frac{Q_{med} * (S_o - S_e)}{X_a * \frac{SSV}{ST} * V_{TA}} = 0.488 \text{ kg DBO/kg SSV}$$

Donde: A/M = Relación alimento microorganismos (kg DBO/kg SSV)

Q_{med} = Caudal medio diario (m³/día)

S_o = Concentración de DBO en el afluente (mg/L)

S_e = Concentración de DBO en el efluente, soluble (mg/L)

X_{av} = Biomasa en el tanque de aireación (mg SSV/L) = Sólidos suspendidos en el licor mixto (X_a) por la relación SSV/ST

V_{TA} = Volumen del tanque de aireación (m³)



Se obtiene, por lo tanto, una relación Alimento/Microorganismos (A/M) de 0.488 kg DBO/kg SSV. Este dato se encuentra dentro del parámetro recomendado de 0.2 – 0.6 kg DBO/kg SSV.

- **RECIRCULACIÓN RECOMENDADA (r):**

En sistema de lodos activados usado como post-tratamiento de reactores anaerobios se recomienda una tasa de recirculación (Qr/Q) entre 0.6 y 1.0 (**von Sperling et al., 2001. Tabla 5.5**).

Según el software, esta tasa de Recirculación Recomendada (r) es de 0.6.

- **VERIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LODO ΔX A PARTIR DEL V_{TA} , EDAD DEL LODO Y CONCENTRACIÓN DE SSTA:**

Esta verificación de producción de lodo, dependiente del volumen de lodo del tanque de aireación, edad del lodo y concentración de SSTA, se calcula mediante la siguiente ecuación (**Jordao, E. & C. Pessoa, 2011**):

$$\Delta X = \frac{Xa * V_{TA}}{\theta_c} = \frac{1500 * 408.04}{8} = 76.51 \text{ kg ST/día}$$

Se obtiene, una Verificación de Producción de Lodo de 76.51 kg ST/día, la cual es similar a la Producción de lodo, anteriormente calculada, con un valor de 76.6 kg ST/día.

SEDIMENTADOR SECUNDARIO

- **SELECCIÓN DE LA TASA DE FLUJO SUPERFICIAL T_{FS} :**

Se recomienda una tasa de flujo superficial aplicada entre 24 y 36 m³/m²*día, para sedimentadores secundarios en sistemas de lodos activados usados como post-tratamiento de reactores anaerobios (**von Sperling et al., 2001. Tabla 5.5**).

Es por ello que, de acuerdo a las consideraciones de diseño, el software hace una estimación de Una Tasa de Flujo Superficial (T_{FS}) de 25 m³/m²*día.



- **ÁREA DE SEDIMENTACIÓN (As):**

Este valor, según el software, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$As = \frac{Q}{T_{FS}} = \frac{1194.47}{25} = 47.78 \text{ m}^2$$

Donde:

As = Área de sedimentación (m²)

Q = Caudal afluyente (m³/día)

T_{FS} = Tasa de flujo superficial m³/m²*día

Por lo tanto, se obtiene un Área de Sedimentación (As) de 47.78 m².

Estos dos valores son los que el software considera para el diseño del Sedimentador Secundario, posteriormente verificaremos la tasa de aplicación de sólidos.

VERIFICACIÓN DE LA TASA DE APLICACIÓN DE SÓLIDOS, EN FUNCIÓN DE LA MASA DE SÓLIDOS PROVENIENTE DEL TANQUE DE AIREACIÓN AFLUENTE AL SEDIMENTADOR

- **MASA DE SÓLIDOS (M):** La Tasa de aplicación de sólidos es igual a la relación entre la masa de sólidos (M) y el área del sedimentador (As). El valor de M se calcula de la siguiente manera (**Jordao, E. & C. Pessoa, 2011, p. 590**):

$$M = \frac{[(1 + r)Q * SSTA]}{1000} = \frac{[(1 + 0.6)1194.47 * 1500]}{1000} = 2866.8 \text{ kg SS/día}$$

Donde:

r = Recirculación

Q = Caudal afluyente (m³/día)

SSTA = Sólidos suspendidos totales en el tanque de aireación (mg/L)

Se obtiene, por lo tanto, una Masa de Sólidos (M) de 2866.8 kg SS/día.

- **PROFUNDIDAD DE SEDIMENTACIÓN (H_{ss}):** Se recomienda que el sedimentador secundario tenga una profundidad mínima de 3.7 metros (**Jordao, E. & C. Pessoa, 2011, p. 589**).



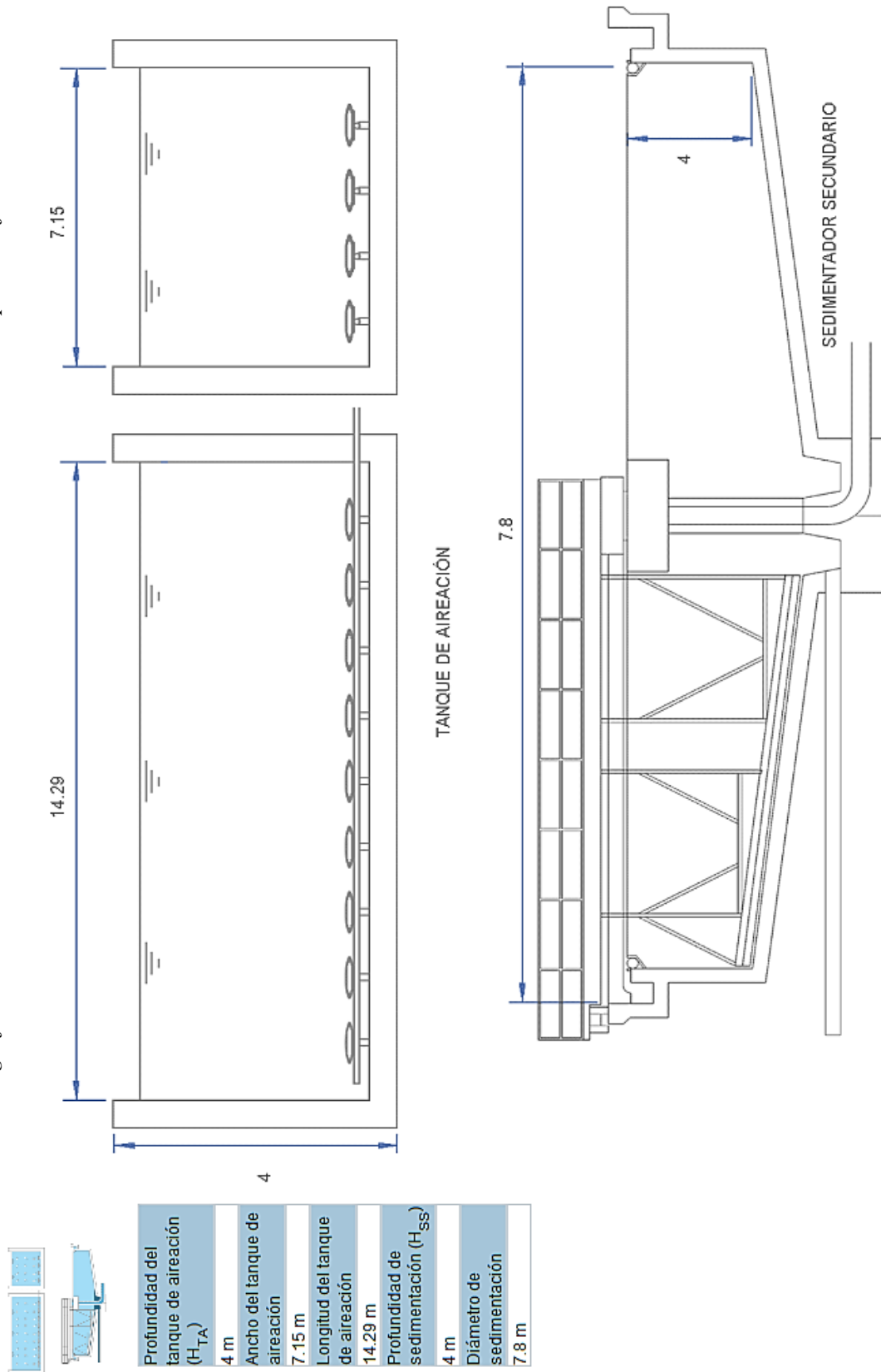
Por lo tanto, de acuerdo a esta referencia se hace una aproximación de una Profundidad de Sedimentación (H_{ss}) de 4 metros.

Bajo esta información, es que el software realiza el cálculo de los siguientes datos para finalizar el diseño de la Tecnología de Lodos Activados Mod. Convencional (RAFA)

- Diámetro de sedimentación = 7.8 m
- Área total requerida por la tecnología RAFA + Lodos Activados Convencional = 274.79 m²

Con esto se culmina el diseño de la tecnología Reactor RAFA + Lodos Activados Mod. Convencional, todas las dimensiones anteriormente calculadas están resumidas en la Figura 26, que es el resultado gráfico final de Reactor RAFA + Lodos Activados Mod. Convencional.

Figura 26
Resultados gráficos del diseño de Lodos Activados Mod. Convencional elaborado por el software "PTAR DISEÑO"



© PTAR Diseño

Tecnología UASB + Lodos Activados Modalidad Convencional

Esquema adaptado de Chermicharo, 2007.

NOTA: Software "PTAR DISEÑO"

3.3.3. Análisis de Resultados del Diseño de la “PTAR Laberinto” elaborado por el software “PTAR Diseño”

Este análisis se basa en los procesos de tratamiento que fueron diseñados anteriormente por el software “PTAR DISEÑO”, los cuales son: Diseño de Rejillas, Desarenador y Canaleta Parshall (Tratamiento Preliminar) y Diseño de Reactor RAFA, junto con sus tecnologías de tratamiento biológico complementarias al RAFA, las cuales son: Reactor RAFA + Laguna Facultativa, Reactor RAFA + Filtro Percolador y Reactor RAFA + Lodos Activados Mod. Convencional. Todos estos procesos serán comparados en este punto con el diseño que se propuso en el expediente técnico, el cual se ejecutó en la obra “PTAR Laberinto”.

Estos análisis comparativos, de los procesos anteriormente mencionados, están detallados en las siguientes Tablas:

Tabla 28
Análisis comparativo diseño Cámara de Rejas

ANÁLISIS COMPARATIVO DISEÑO CÁMARA DE REJAS		
PARÁMETRO	DISEÑO SOFTWARE “PTAR DISEÑO”	DISEÑO MEMORIA DE CÁLCULO EXP. TÉCNICO
Tipo de Rejilla	Finas: 6.4 x 38.1 mm = ¼ x 1 ½ “	¼ x 1 “
Espaciamiento entre barras (a)	20 mm	1” = 2.54 cm = 25.4 mm
Inclinación de las barras (θ)	60°	60°
Velocidad de paso	V _{MÁX} = 0.9 m/s	V _{MÁX} = 0.8 m/s
	V _{MIN} = 0.8 m/s	V _{MIN} = 0.7 m/s

Tabla 28
Análisis comparativo diseño Cámara de Rejas

Área útil entre las barras para el escurrimiento (Au)	0.0269 m ²	0.029 m ²
Eficiencia (E)	0.76	0.8
Número de barras (n)	27	15
Pérdida de carga en rejilla 50 % sucia (hL)	0.0294 m	0.08 m
H _{máx}	0.25 m	0.22 m
Longitud del canal	2.05 m	2.10 m

NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Para este proceso, se concluye que, las dimensiones como largo de canal, ancho de canal, diámetro, espesor de rejillas y todos los detallados en la Tabla 28, no son de una variación significativa para su diseño y uso eficiente en el proceso de cribado para el diseño de Cámara de Rejas. Eso quiere decir que, para los datos que pertenecen a la “PTAR Laberinto” el software hizo un cálculo y diseño óptimo comparado con el elaborado por el expediente técnico, el cual fue ejecutado en obra.

Tabla 29
Análisis comparativo diseño Desarenador

ANÁLISIS COMPARATIVO DISEÑO DESARENADOR		
PARÁMETRO	DISEÑO SOFTWARE “PTAR DISEÑO”	DISEÑO MEMORIA DE CÁLCULO EXP. TÉCNICO
Longitud del desarenador (L)	5.34 m	4.8 m

Tabla 29
Análisis comparativo diseño Desarenador

Ancho del desarenador (b)	0.38 m	0.4 m
Altura máxima de lámina de agua en el desarenador ($H_{m\acute{a}x}$)	0.21 m	0.19 m
Velocidad de Flujo (V)	0.3 m/s	0.25 m/s
Frecuencia de limpieza (t)	8 días	7 días
Área longitudinal del desarenador (A)	2.012 m ²	1.92 m ²
Estimación de material retenido (q)	0.09 m ³ /día	0.044 m ³ /día

NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Para este proceso, al igual que el anterior, podemos verificar que la variación en cuanto a dimensiones no es considerable y que el desempeño del software en lo que es el Tratamiento Preliminar, es óptimo, comparado con la memoria de cálculo del Expediente Técnico, la cual se ejecutó en obra.

Tabla 30
Análisis comparativo diseño Canal Parshall

ANÁLISIS COMPARATIVO DISEÑO CANAL PARSHALL		
PARÁMETRO	DISEÑO SOFTWARE “PTAR DISEÑO”	DISEÑO MEMORIA DE CÁLCULO EXP. TÉCNICO
Ancho de Garganta (W)	7.6 cm	15.20 cm
Coefficiente K	0.176	0.176
Coefficiente n	1.547	1.547

Tabla 30
Análisis comparativo diseño Canal Parshall

Tirante máximo y	$H_{MÁX} = 0.28 \text{ m}$	$H_{MÁX} = 0.245 \text{ m}$
mínimo	$H_{MIN} = 0.13 \text{ m}$	$H_{MIN} = 0.107 \text{ m}$
Altura de grada de control (S)	0.064 m	0.054 m

NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

En este proceso de Tratamiento Preliminar, el software también no genera una variación considerable de dimensiones, ya que se entiende que este proceso es fundamental, porque nos proporciona el caudal en el afluente del sistema de la PTAR.

La única variación que podría considerarse un poco considerable, es la del Ancho de Garganta (W), ya que el software trabaja con una Tabla adaptada de: **Azevedo Netto et al (1998) citado por Mendoca (2000) p. 185**, pero al comparar los coeficientes “K” y “n”, estos vienen a ser los mismos, lo cual demuestra ser eficiente en cuanto a su uso de medidor de caudal para el afluente de la PTAR.

Si se hace un análisis más profundo en la comparación del diseño de este proceso, se podría decir que, en el parámetro de costos, en la construcción de este proceso, no estaríamos creando una sobrevaloración considerable ya que se manejan similares dimensiones, todo esto detallado en el plano de dimensiones de la PTAR y Expediente Técnico.

Tabla 31
Análisis comparativo diseño Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente

ANÁLISIS COMPARATIVO DISEÑO REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE		
PARÁMETRO	DISEÑO SOFTWARE “PTAR DISEÑO”	DISEÑO MEMORIA DE CÁLCULO EXP. TÉCNICO
Tiempo de retención hidráulico (TRH)	7 horas	4 horas

Tabla 31

Análisis comparativo diseño Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente

Adopción de número de unidades de reactores (NR)	2	1
Altura efectiva del reactor (H)	5 m	5 m
Altura compartimiento de sedimentación (hs)	2 m	1.67 m
Altura de digestión (hd)	3 m	2.39 m
Carga hidráulica volumétrica (CHV)	3.42 m ³ /m ³ *día	5.52 m ³ /m ³ *día
Carga orgánica volumétrica (COV)	1.9301 Kg DQO/m ³ *día	1.54 Kg DQO/m ³ *día
Velocidad ascensional (Va)	0.711 m/h (Para Q _{med}) 1.242 m/h (Para Q _{máx})	0.6 m/h (Para Q _{máx})
Área de influencia por tubo distribuidor (Ad)	2 m ²	2 m ²
Eficiencia de remoción de DQO del sistema (E _{DQO})	65.7 %	58.4 %
Eficiencia de remoción de DBO del sistema (E _{DBO})	73.7 %	75 %
Estimación de la concentración de DQO en el efluente	274.4 mg/L	163.25 mg/L
Estimación de la concentración de DBO en el efluente	149.8 mg/L	48.23 mg/L
Coefficiente de producción de sólidos (Y)	0.2	0.21
Factor de corrección para la temperatura operacional del reactor F(t)	2.62 Kg DQO/m ³	2.63 Kg DQO/m ³

Tabla 31

Análisis comparativo diseño Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente

Producción volumétrica de metano (Q_{CH_4})	202.13 m ³ /día	78 m ³ /día
---	----------------------------	------------------------

NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Para este proceso, se pueden apreciar algunas variaciones poco considerables, ya que el software en algunos casos considera que unos de estos cálculos se deben realizar con el Caudal Medio (Q_{med}), situación que no sucede con la memoria de cálculo que se realizó en el expediente técnico, por lo que, para ese cálculo, se trabajaron absolutamente todos los datos con el Caudal Máximo ($Q_{máx}$).

El software demostró que, si se hace la comparación con la memoria de cálculo, cumplió con la mayoría de parámetros que también están incluidos en el dimensionamiento del expediente técnico los cuales son: Verificación de área total, volumen y tiempo de retención hidráulico, verificación de cargas aplicadas, cálculo de velocidad ascensional (V_a) para caudal medio y máximo, sistema de distribución del afluente, producción de metano y estimación de energía generada.

Al igual que los planos estructurales y diseño del RAFA, el software hizo un cálculo de 4 campanas deflectoras para la producción de biogás y metano, eso quiere decir que, el número de tuberías y producción de lodos son aproximados en cuanto al diseño.

Tabla 32

Análisis comparativo diseño de tecnologías complementarias al RAFA

ANÁLISIS COMPARATIVO DISEÑO EN TECNOLOGÍAS COMPLEMENTARIAS AL RAFA (REMOCIÓN DE DQO Y DBO)		
LAGUNA FACULTATIVA	FILTRO PERCOLADOR	LODOS ACTIVADOS MOD. CONVENCIONAL
Eficiencia de DBO estimada:	Eficiencia de remoción de DQO y/o DBO del filtro percolador (EFP):	Eficiencia de remoción de DBO soluble en el efluente y la eficiencia de remoción de DBO:
DBO = 63.9 %	DQO = 66.8 % DBO = 71.7 %	DBO soluble = 100 % DBO = 71.4 %

NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

En el diseño que se hizo en el software, que son tres tecnologías complementarias al RAFA, las cuales están detalladas en la Tabla 32, se puede observar la eficiencia de estas 3 tecnologías, que al hacer la comparación podemos apreciar que la remoción de DBO, es casi similar en las tecnologías de Filtro Percolador y Lodos Activados Modalidad Convencional, las cuales son remociones de 71.7 % y 71.4 % (casi similares) respectivamente, para ello el investigador recomienda el uso de estas dos tecnologías en la construcción de la “PTAR Laberinto” por su alto índice de remoción de DBO, y/o para otras plantas de tratamiento de aguas residuales que asemejen sus características a esta.

Caso contrario sucede con la tecnología de Laguna Facultativa, que demuestra una baja remoción de DBO, es por ello que el investigador no recomienda el uso de esta tecnología para la “PTAR Laberinto”, otro factor podría ser que, se necesiten

varias lagunas que trabajen en serie o paralelo para que exista una mayor remoción de sólidos, también pueden ser factores climáticos o una sobrecarga orgánica, así como el uso de un área muy grande de 4262.5 m² como recomienda el software.

Se puede concluir que, las tecnologías de Filtro Percolador y Lodos Activados Modalidad Convencional son eficientes para complementar al RAFA en la “PTAR Laberinto”.

3.3.4. Diseño del Reactor RAFA de la “PTAR Laberinto” por el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente.

La información de diseño está recopilada en el Apartado 2.8.2 de la presente investigación (Criterios del Diseño del RAFA), es por ello que, en base a esa referencia, se hará al detalle el diseño del RAFA de la “PTAR Diseño” a continuación:

DATOS DE ENTRADA: Los datos de entrada que requiere el manual y que se recopilaron del diseño de la obra, gracias al expediente técnico y memoria de cálculo del RAFA, son los siguientes:

- Gasto Afluente Promedio (Qip): 11.5 L/s = 993.6 m³/día = 41.4 m³/h
- Gasto Afluente Máximo Horario (Qmáx-h): 20.7 L/s = 1788.48 m³/d = 74.52 m³/h
- DQO Afluente Promedio (So): 390 g/m³ = 0.390 kg/m³
- DBO Afluente Promedio (So): 193 g/m³ = 0.193 kg/m³
- Temperatura residual: 22.85 °C
- Coeficiente del rendimiento de sólidos (Y): 0.18 kg SST/kg DQO (adoptado)
- Coeficiente del rendimiento de sólidos en términos de DQO (Yobs): 0.21
- Concentración esperada de la descarga de lodo (C): 4% (adoptado)



- Densidad de lodo (γ): 1030 kg/m³ (adoptado)

a) Cálculo de la carga DQO afluente promedio (Lo):

$$Lo = So \times Qip$$

$$Lo = 387.504 \text{ kg DQO/día}$$

$$Lo = 0.390 \text{ kg/m}^3 \times 993.6 \text{ m}^3/\text{día}$$

b) Adoptar valor de tiempo de residencia hidráulica (t)

Para un Q_{PROM} en horas = 8 horas = 0.333 días

c) Volumen total del reactor

$$V = Qip \times t = 993.6 \text{ m}^3/\text{día} \times 0.333 \text{ d} = 331 \text{ m}^3$$

d) Número de módulos del reactor (N=2)

En el diseño se establece que el número de módulos del reactor son dos, por lo que en este caso N=2.

e) Volumen de cada módulo (Vu)

$$Vu = \frac{V}{N} = \frac{331 \text{ m}^3}{2} = 165.5 \text{ m}^3$$

Se calcula un volumen de cada módulo (Vu) de 165.5 m³

f) Establecer un valor para la altura del reactor (H)

Altura de 3 a 6 metros (Chernicharo de Lemus, 2007)

Altura de 6 metros (Metcalf & Eddy, Inc., 2003)

De acuerdo al diseño se establece una altura del reactor (H) de 5 metros, el cual está dentro de los parámetros bibliográficos del manual de diseño.

g) Determinar el área de cada módulo (A)

$$A = \frac{Vu}{H} = \frac{165.5 \text{ m}^3}{5 \text{ m}} = 33.1 \text{ m}^2$$

Se obtiene, un área de cada módulo (A) de 33.1 m².

Para una configuración de reactores rectangulares y estableciendo el ancho (a) del reactor en 5 metros, donde:

$$A = l \times a$$



$$l = \frac{A}{a} = \frac{33.1 \text{ m}^2}{5 \text{ m}} = 6.62 \text{ m}$$

De acuerdo a esta ecuación se obtiene, un largo (l) de 6.62 m.

h) Verificación del área, volumen y tiempo de residencia hidráulica

$$A_T \text{ correcta} = A_T = N \times A = 2 \times 33.1 \text{ m}^2 = 66.2 \text{ m}^2$$

$$\text{Volumen total correcto} = Vt = At \times H = 66.2 \text{ m}^2 \times 5 \text{ m} = 331 \text{ m}^3$$

$$\text{Tiempo de Residencia Hidráulica corregido} = t = \frac{Vt}{Q_{ip}}$$

$$\frac{Vt}{Q_{ip}} = \frac{331 \text{ m}^3}{993.6 \text{ m}^3/\text{día}} = 0.333\text{d} = 8 \text{ horas}$$

i) Verificación de las cargas aplicadas

Carga hidráulica volumétrica (CHV):

$$CHV = \frac{Q_{ip}}{V} = \frac{993.6 \text{ m}^3/\text{día}}{331 \text{ m}^3} = 3 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$$

Carga orgánica volumétrica (COV):

$$COV = \frac{Q_{ip} \times S_o}{V} = \frac{993.6 \text{ m}^3/\text{día} \times 0.390 \text{ kg DQO}/\text{m}^3}{331 \text{ m}^3} = 1.17 \text{ kg DQO}/\text{m}^3\text{d}$$

j) Verificación de las velocidades de flujo ascendente

$$\text{Para } Q_{ip}; \quad V = \frac{Q_{ip}}{At} = \frac{993.6 \text{ m}^3/\text{día}}{66.2 \text{ m}^2} = 15 \text{ m}/\text{d} = 0.625 \text{ m}/\text{h}$$

$$\text{Para } Q_{max} - h; \quad V = \frac{Q_{max} - h}{At} = \frac{1788.48 \text{ m}^3/\text{día}}{66.2 \text{ m}^2} = 27.02 \text{ m}/\text{d} = 1.13 \text{ m}/\text{h}$$

k) Sistemas de distribución del agua residual

Estableciendo un Área de Influencia de ($A_d = 2 \text{ m}^2$), Tasa de Carga Orgánica Volumétrica ($COV = 1.17 \text{ kg DQO}/\text{m}^3\text{d}$). Se calcula el número de tubos con la siguiente ecuación:

$$Nd = \frac{At}{A_d} = \frac{66.2 \text{ m}^2}{2 \text{ m}^2} = 32.1 \cong 32 \text{ tubos de distribución}$$

Dado que son 2 módulos, cada reactor tendrá 16 tubos.

l) Estimación de las eficiencias de remoción de la DQO del sistema

Se utiliza la siguiente ecuación (Chernicharo de Lemos, 2007):

$$E_{DQO} = 100 \times (1 - 0.68 * t^{-0.35}) = 100 \times (1 - 0.68 * 8^{-0.35}) = 67\%$$

m) Estimación de las eficiencias de remoción de la DBO del sistema

Se utiliza la siguiente ecuación (Chernicharo de Lemos, 2007):

$$E_{DBO} = 100 \times (1 - 0.07 * t^{-0.5}) = 100 \times (1 - 0.07 * 8^{-0.5}) = 75\%$$

n) Estimación de las concentraciones de DQO y DBO en el efluente final

Se utiliza la siguiente ecuación:

$$C_{efl} = S_o - \frac{(E \times S_o)}{100}$$

$$\text{Recordando: } S_o(DQO) = 0.390 \frac{kg}{m^3}; E = 67\% \wedge S_o(DBO) = 0.193 \frac{kg}{m^3}; E = 75\%$$

$$\text{Por lo tanto; } C_{efl_{DQO}} = 0.390 - \frac{(67 \times 0.390)}{100} = 0.129 \text{ kg } \frac{DQO}{m^3} = 129 \text{ mg DQO/L}$$

$$C_{efl_{DBO}} = 0.193 - \frac{(75 \times 0.193)}{100} = 0.048 \text{ kg DBO/m}^3 = 48 \text{ mg DBO/L}$$

Se obtiene, una concentración de DQO y DBO en el efluente de 129 mg DQO/L y 48 mg DBO/L, respectivamente.

o) Producción teórica de metano

Puede ser estimada de la siguiente manera:

$$DQO_{CH_4} = Q_{ip} \times [(S_o - C_{efl}) - Y_{obs} \times S_o]$$

$$DQO_{CH_4} = 993.6 \text{ m}^3/\text{día} \times [(0.390 \text{ kg DQO/m}^3 - 0.129 \text{ kg DQO/m}^3) - 0.21 \times 0.390]$$

$$DQO_{CH_4} = 178 \text{ kg DQO/día}$$

Se tiene en cuenta el siguiente factor: $K(t)$ = Factor de corrección dependiendo de la temperatura de operación del reactor (kg DQO/m^3). Se calcula por la siguiente ecuación:



$$K(t) = \frac{P \times K_{DQO}}{[R \times (273 + T)]}$$

Donde, los datos de acuerdo al diseño son los siguientes:

$$P = 1 \text{ atm}, R = 0.08206 \text{ atm L/mol K}, K_{DQO} = 64 \text{ g DQO/mol}, T = 22.85 \text{ °C}$$

$$\text{Por lo tanto: } K(t) = \frac{1 \times 64}{[0.08206 \times (273 + 22.85)]} = 2.64 \text{ kg DQO/m}^3$$

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{K(t)} = \frac{178 \text{ kg DQO/día}}{2.64 \text{ kg DQO/m}^3} = 67 \text{ m}^3/\text{día}$$

Se obtiene, una producción teórica de metano de 67 m³/día.

p) Producción de Biogás

Se estima para un contenido de metano de 70% en el biogás:

$$Q_g = \frac{Q_{CH_4}}{0.7} = \frac{67 \text{ m}^3/\text{día}}{0.7} = 96 \text{ m}^3/\text{día} \vee 4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Se calcula, una producción de biogás de 96 m³/día

q) Dimensionamiento del colector de gas

- Número de colectores de gas = 2 (1 en cada módulo).
- Longitud de cada reactor = L_g = 11 m
- Longitud total del colector de gas = L_t = 11(2) = 22 m
- Ancho de la parte superior del colector de gas (A_g): A_g = 0.25 m
- Área total del colector de gas (A_{tg}) en la parte superior (A_{tg}):

$$A_{tg} = L_t \times A_g = 22\text{m} * (0.25\text{m}) = 5.5 \text{ m}^2$$

- Cálculo liberación de biogás en el colector de gas (kg):

$$kg = \frac{Q_g}{A_{tg}} = \frac{4 \text{ m}^3/\text{h}}{5.5 \text{ m}^2} = 0.73 \text{ m/h}$$

Por lo tanto, cada colector de biogás se hace con las siguientes dimensiones:

Longitud = 11 metros

Ancho = 0.25 m



r) Dimensionamiento de las aberturas del compartimiento del sedimentador

$$\text{Longitud de abertura} = 11 \text{ m}; \quad \text{Longitud total} = 11(4) = 44 \text{ m}$$

$$\text{Ancho de cada abertura (Aa)} = 0.45 \text{ (adoptado)}$$

$$\text{Área total aberturas} = \text{Ata} = \text{Lt} \times \text{Aa} = 44 \text{ m} \times (0.45\text{m}) = 19.8 \text{ m}^2$$

Verificación de velocidades:

$$\text{Para } Q_{ip}; \quad V_{ab} = \frac{Q_{ip}}{\text{Ata}} = \frac{993.6 \text{ m}^3/\text{día}}{19.8 \text{ m}^2} = 50.2 \text{ m/día} = 2.1 \text{ m/h}$$

$$\text{Para } Q_{max} - h; \quad V_{ab} = \frac{Q_{max} - h}{\text{Ata}} = \frac{1788.48 \text{ m}^3/\text{día}}{19.8 \text{ m}^2} = 90.33 \text{ m/día} = 3.8 \text{ m/h}$$

Por lo tanto, se obtienen aberturas del compartimiento del sedimentador, con las siguientes dimensiones: Largo = 11 m y Ancho = 0.45 m.

s) Dimensionamiento del compartimiento del sedimentador

- Número de compartimientos = 2
- Longitud sedimentador = 11 m; Longitud total sedimentador = 11 m (2) = 22 m.
- Ancho de cada colector (Ag) = 0.3 m [0.25 + 0.05(espesor de pared)]
- Ancho de cada compartimiento: As = 4m
- Ancho efectivo de cada sedimentador = 4 – 0.3 = 3.7 m
- Área total sedimentador = Lts x Aes = 22 x 3.7 = 81.4 m²
- Verificación de las tasas de carga de superficie del sedimentador:

$$\text{Para } Q_{ip}; \quad V_s = \frac{Q_{ip}}{\text{Ats}} = \frac{993.6 \text{ m}^3/\text{día}}{81.4 \text{ m}^2} = 12.21 \text{ m/día} = 0.51 \text{ m/h}$$

$$\text{Para } Q_{max} - h; \quad V_s = \frac{Q_{max} - h}{\text{Ats}} = \frac{1788.48 \text{ m}^3/\text{día}}{81.4 \text{ m}^2} = 21.97 \text{ m/día} = 0.92 \text{ m/h}$$

Por lo tanto, se obtiene un sedimentador con las siguientes dimensiones:

$$\text{Longitud} = 11 \text{ m y Ancho} = 3.70 \text{ m}$$

t) Producción de lodo (Pl)

Se calcula con la siguiente ecuación: $Pl = Y \times DQO_{app}$



$$Pl = 0.18 \text{ kg SST/kg DQO} \times 387.504 \text{ kg DQO/día} = 69.75 \text{ kg SST/día}$$

Se obtiene, una producción de lodo (PI) de 69.75 kg SST/día

- Volumen de lodo:

$$Vl = \frac{Pl}{Y \times C} = \frac{69.75 \text{ kg SST/día}}{1030 \text{ kg/m}^3 \times 4\%} = Vs = 1.7 \text{ m}^3/\text{día}$$

Se obtiene, un volumen de lodo de 1.7 m³/día.

De este modo se culmina con el diseño del reactor RAFA de la “PTAR Laberinto” de acuerdo al Manual de Diseño del CONAGUA (Comisión Nacional del Agua – México), este Manual nos permitió analizar el diseño hasta con 25 parámetros. A continuación, se presenta la comparación del análisis de resultados del diseño del RAFA del Manual del CONAGUA, con el diseño de la memoria de cálculo del expediente técnico ejecutado en obra en la Tabla 33.

Tabla 33

Análisis comparativo diseño Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente – CONAGUA

ANÁLISIS COMPARATIVO DISEÑO REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE - CONAGUA		
PARÁMETRO	DISEÑO MANUAL CONAGUA	DISEÑO MEMORIA DE CÁLCULO EXP. TÉCNICO
Tiempo de retención hidráulico (TRH)	8 horas	4 horas
Adopción de número de unidades de reactores (NR)	2	1
Altura efectiva del reactor (H)	5 m	5 m
Altura compartimiento de sedimentación (hs)	1.87 m	1.67 m
Altura de digestión (hd)	2.50 m	2.39 m

Tabla 33*Análisis comparativo diseño Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente – CONAGUA*

Carga orgánica volumétrica (COV)	1.17 Kg DQO/m ³ *día	1.54 Kg DQO/m ³ *día
Carga hidráulica volumétrica (CHV)	3 m ³ /m ³ *día	5.52 m ³ /m ³ *día
Velocidad ascensional (Va)	0.625 m/h (Para Q _{med}) 1.13 m/h (Para Q _{máx})	0.6 m/h (Para Q _{máx})
Área de influencia por tubo distribuidor (Ad)	2 m ²	2 m ²
Eficiencia de remoción de DQO del sistema (E _{DQO})	67 %	58.4 %
Eficiencia de remoción de DBO del sistema (E _{DBO})	75 %	75 %
Estimación de la concentración de DQO en el efluente	129 mg/L	163.25 mg/L
Estimación de la concentración de DBO en el efluente	48 mg/L	48.23 mg/L
Coefficiente de producción de sólidos (Y)	0.18	0.21
Factor de corrección para la temperatura operacional del reactor K(t)	2.64 Kg DQO/m ³	2.63 Kg DQO/m ³
Producción volumétrica de metano (Q _{CH4})	67 m ³ /día	78 m ³ /día

NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Se puede apreciar que, de acuerdo a los parámetros de diseño comparados en la Tabla 33, existe una variación mínima de valores en el diseño de la RAFA para la “PTAR Laberinto”, esto quiere decir que el Manual de Diseño de la Comisión



Nacional del Agua (CONAGUA) es muy eficiente para el diseño de este tipo de procesos secundarios de tratamiento de agua residual.

Esto se puede valorar, porque gran parte de la bibliografía de este manual fue usado en la programación del software “PTAR Diseño” de la Universidad de Cali con el cual también se hizo el diseño de la “PTAR Laberinto” en sus etapas de tratamiento primario y secundario complementado con 3 tecnologías complementarias al RAFA.

El aprovechamiento de la producción de biogás, metano y producción está más detallado en el manual.

El investigador recomienda el uso del Manual de Diseño de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), para diseño de estas tecnologías primarias (RAFA) en futuros proyectos de tratamiento de aguas residuales.



3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La metodología seguida para la presente investigación, se presenta de acuerdo a los objetivos específicos de la misma. Uno de estos objetivos específicos es: Determinar en qué condiciones se encuentra actualmente el agua residual doméstica de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto.

Este objetivo fue desarrollado y analizado de forma experimental por el investigador, el cual realizó un muestreo de agua residual para poder analizar 10 parámetros que se encuentran dentro de la Norma OS.090 (Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales – Apartado 4.3.2), los cuales son: Coliformes fecales, huevos y larvas de helmintos, DBO₅, DQO, sólidos totales en suspensión, sólidos totales disueltos, sólidos sedimentables, sólidos totales, sólidos fijos y sólidos volátiles. Los resultados engloban a ensayos Microbiológicos y Químicos de la matriz de alcantarillado de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto, los cuales fueron realizados por el laboratorio acreditado por el INACAL “LOUIS PASTEUR”, el cual se encuentra en la ciudad del Cusco, con fecha de muestreo 02 de octubre del 2021, de acuerdo al instructivo LLP-MP14-I01 (Instructivo Toma-Preservación de Muestras de alimentos y Aguas Laboratorio Microbiológico) y LLP-MP14-I06 (Instructivo Toma-Preservación de Muestras de Aguas – Laboratorio Químico) enviados por el laboratorio.

Dentro de los anexos de la presente investigación se adjuntan los resultados microbiológicos y químicos del ensayo realizado, el instructivo para toma de muestras de agua residual y la respectiva cadena de custodia enviada por el laboratorio, la cual fue llenada el día de muestreo de agua residual en la matriz de alcantarillado de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto.



3.4.1. Análisis Microbiológico y Químico del agua residual de la población de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto

El ensayo se realizó en la matriz de alcantarillado de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto, para evaluar las condiciones químicas y microbiológicas del agua residual de la población de acuerdo a la Norma OS.090 del RNE.

Esta matriz desemboca sus aguas al río Madre de Dios, se toma en cuenta que, esta agua residual es la que provee a la “PTAR Laberinto” como afluente de la misma.

Los resultados de los parámetros analizados son de suma importancia para analizar la eficiencia de DBO y sólidos en suspensión de la “PTAR Laberinto” de acuerdo a la Norma OS.090.

Se realizó, previamente al muestreo, una cotización de servicios al laboratorio de acuerdo a los parámetros a analizar, la cual también se encuentra dentro de los anexos de la investigación.

Se considera apto este laboratorio ya que es acreditado por el INACAL (Instituto Nacional de Calidad) debido a que aporta, una fidelidad de resultados, para que esta investigación tenga un buen sustento experimental.

Los materiales fueron entregados por el laboratorio desde la ciudad del Cusco y recepcionados en la ciudad de Puerto Maldonado para trasladarlos posteriormente a la localidad de Puerto Rosario – Laberinto donde se realizó el muestreo.

Para los ensayos microbiológicos, se entregaron 1 frasco de 500 ml y 1 frasco de 1000 ml debidamente etiquetados.

Para los ensayos químicos, se entregaron 3 frascos de 1000 ml y 1 frasco de 250 ml también debidamente etiquetados.



OBJETIVO GENERAL DEL ENSAYO

- Evaluar y analizar las condiciones microbiológicas y químicas del agua residual de la población de Puerto Rosario – Laberinto de acuerdo a la Norma OS.090 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

OBJETIVO ESPECÍFICO DEL ENSAYO

- Analizar la eficiencia de los procesos de tratamiento primario y secundario respecto a la remoción de DBO y Sólidos en Suspensión de acuerdo a los resultados del muestreo de aguas residuales realizados por el laboratorio y la Norma OS.090 del R.N.E.

EQUIPOS Y MATERIALES

- Cooler de plástico con geles refrigerantes
- Guantes de látex
- Cadena de custodia (**se encuentra en los anexos de la investigación**)
- Ácido sulfúrico diluido
- 01 frasco de 500 ml debidamente etiquetado (**para ensayos microbiológicos**)
- 01 frasco de 1000 ml debidamente etiquetado (**para ensayos microbiológicos**)
- 03 frascos de 1000 ml debidamente etiquetados (**para ensayos químicos**)
- 01 frasco de 250 ml debidamente etiquetado (**para ensayos químicos**)

PROCEDIMIENTO Y EJECUCIÓN DEL PLAN DE MUESTREO

1. Colocar el cooler con el material cerca al punto de muestreo.
2. Colocarse los guantes
3. Se rotulan los frascos con la información de la muestra en la etiqueta
4. Se procede a colectar la muestra para ensayos microbiológicos (iniciando por el de coliformes totales)



5. Se procede a coleccionar la muestra para ensayos químicos (para el ensayo de DQO se agrega 10 gotas de ácido sulfúrico diluido a la muestra).
6. Inmediatamente se colecciona la muestra, los frascos deben ser cerrados herméticamente, rotulados con la información correspondiente al punto de muestreo y colocados en el cooler con los geles refrigerantes.
7. **NOTA:** Todas las muestras se toman hasta cuello de botella (**NUNCA COMPLETAMENTE LLENOS**), llenar la cadena de custodia y transportar las muestras al laboratorio antes de las 24 horas de tomada la muestra.

FIGURAS CORRESPONDIENTES AL PROCEDIMIENTO PARA EL MUESTREO DE AGUA RESIDUAL

Se realizó el llenado, sellado y preservación de muestras de agua residual para todos los análisis solicitados y se llenaron todos los frascos hasta el cuello de botella como indica el instructivo para toma de muestras de agua residual del laboratorio. Un caso especial fue el llenado del frasco de la DQO, ya que este requería de un reactivo, que en este caso fue ácido sulfúrico (H_2SO_4), 10 gotas de ácido sulfúrico para el frasco de 1000 ml debidamente etiquetado (Figura 27 y 28).

El procedimiento llenado, sellado y preservación de muestras para ensayos microbiológicos y químicos, así como la rotulación de frascos y recepción de materiales se encuentran detallados dentro de los Anexos de la investigación (Anexo 3).

El muestreo de agua residual en la matriz de alcantarillado de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto, realizado por parte del investigador, no presentó ninguna dificultad para el informe de resultados entregado por el laboratorio, ya que se siguió adecuadamente el instructivo.

Figura 27
Reactivo para muestreo de la DQO (ácido sulfúrico)



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 28
Colocación de reactivo (ácido sulfúrico) para muestreo de la DQO



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 29
Transporte de muestras para ensayos microbiológicos y químicos



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 30

Muestras listas para envío a laboratorio debidamente selladas y rotuladas



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Como se mencionó anteriormente, todas las muestras fueron enviadas al laboratorio con destino a la ciudad del Cusco, con sus geles refrigerantes previamente congelados (Figura 30). La cadena de custodia se encuentra dentro de los anexos de la investigación, en la cual se tienen todos los datos del llenado de muestras requerido por el laboratorio.

Con esto se culmina el muestreo del agua residual de la población de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto, los métodos con los que se realizaron los análisis se encuentran dentro de los resultados que se presentan a continuación.

RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO POR EL LABORATORIO “LOUIS PASTEUR”

Se presenta el informe de ensayo de laboratorio: LLP-3710-2021 y SO-1268-2021. Con registro N° LE-042 de ensayo acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación INACAL – DA.

Los resultados del análisis de los ensayos microbiológicos y químicos del agua residual, realizados con fecha de muestreo: 02 de octubre del 2021 por el investigador, en la localidad de Puerto Rosario – Laberinto, de acuerdo a solicitud de parámetros de la Norma OS.090, se presentan en las siguientes tablas:



Tabla 34

Resultados microbiológicos realizados por el laboratorio "LOUIS PASTEUR"

RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS		
Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
Coliformes Fecales	NMP/100ml	92x10 ⁷
Numeración de huevos y larvas de helmintos	Org/L	0

NOTA: Laboratorio "LOUIS PASTEUR"

Tabla 35

Resultados químicos realizados por el laboratorio "LOUIS PASTEUR"

RESULTADOS QUÍMICOS		
Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DBO ₅	DBO ₅ mg/L	565.64
DQO	mg O ₂ /L	981.67
Sólidos totales en suspensión	mg STS/L	300.00
Sólidos totales disueltos	ppm	854.5
Sólidos sedimentables	mL/L	0.6
Sólidos totales	mg st/L	420
Sólidos fijos	mg sf/L	3853.3
Sólidos volátiles	mg sv/L	150

NOTA: Laboratorio "LOUIS PASTEUR"

NOTA: Los métodos de referencia para cada uno de estos parámetros se encuentran dentro de los resultados presentes en los anexos de la presente investigación.

El análisis de resultados se realizará de acuerdo a la Norma OS.090 del Reglamento Nacional de Edificaciones (Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales).



ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO POR EL LABORATORIO “LOUIS PASTEUR”

De acuerdo a la Norma OS.090 (Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales) del Reglamento Nacional de Edificaciones, en su apartado 3.17 (Bases de diseño), menciona: “Los parámetros que usualmente determinan las bases del diseño son: DBO, sólidos en suspensión, coliformes fecales y nutrientes”.

En el Apartado 4.3.7 menciona: “En las comunidades en donde se haya realizado muestreo, se relacionará la masa de contaminantes de DBO, sólidos en suspensión y nutrientes, coliformes y parásitos con las poblaciones contribuyentes, para determinar el aporte per cápita de los parámetros indicados. El aporte per cápita doméstico e industrial se calculará por separado”.

En el Apartado 4.3.2 menciona que: En las muestras compuestas se determinará como mínimo los siguientes parámetros:

- demanda bioquímica de oxígeno (DBO) 5 días y 20 °C;
- demanda química de oxígeno (DQO);
- coliformes fecales y totales;
- parásitos (principalmente nematodos intestinales);
- sólidos totales y en suspensión incluido el componente volátil;
- nitrógeno amoniacal y orgánico; y
- sólidos sedimentables

Para este caso, se realizó el muestreo de acuerdo a los parámetros que indica la Norma OS.090, por lo cual, se determinará el aporte per-cápita de los parámetros indicados de acuerdo a los resultados de los ensayos microbiológicos y químicos del agua residual la localidad de Puerto Rosario – Laberinto. El cálculo del aporte per-cápita se presenta a continuación:

De acuerdo a la proyección poblacional, se sabe que, se proyectó la “PTAR Laberinto” para 20 años, siendo el primer año de estudio el año 2016, en el cual, de acuerdo a los datos del INEI se tenía una población de 5175 habitantes, para el año actual 2021, se tiene una población de 5561 habitantes y para el año 2036 se proyecta una población futura de 6902 habitantes.

En lo que respecta al caudal promedio de la “PTAR Laberinto” se realizó un aforamiento en la matriz de alcantarillado por el método volumétrico, en tres días de cinco mediciones en la mañana, mediodía y tarde, encontrándose un caudal promedio de $5.85 \text{ L/seg} = 505.44 \text{ m}^3/\text{día} = 505,440 \text{ L/día}$ (Acápite 3.3.1 de la investigación).

- **Cálculo del aporte per-cápita:**

Tabla 36

Cálculo de aporte per-cápita para agua residual doméstica de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto

Parámetro	Resultado del ensayo	Población	Caudal promedio	Aporte per-cápita
DBO ₅	565.54 mg/L			6222.23 mg/L
DQO	981.67 mg/L			10800.62 mg/L
Sólidos totales en suspensión	300 mg/L			3300.69 mg/L
Coliformes fecales	92×10^7 NMP/100ml	5561 habitantes	$505.44 \text{ m}^3/\text{día}$	1012.21×10^7 NMP/100ml
Sólidos sedimentables	0.6 mL/L			6.60 mL/L
Sólidos volátiles	150 mg/L			1650.34 mg/L
Sólidos fijos	3853.3 mg/L			42395.14 mg/L

NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

De acuerdo a la Norma OS.090, en su apartado 4.3.13, menciona que: Para la selección de los procesos de tratamiento de las aguas residuales se usará como guía los valores del cuadro siguiente:

Tabla 37

Selección de los procesos de tratamientos de acuerdo a la Norma OS.090

Proceso de tratamiento	REMOCIÓN (%)		REMOCIÓN ciclos log ₁₀	
	DBO	Sólidos en suspensión	Bacterias	Helmintos
Sedimentación primaria	25-30	40-70	0-1	0-1
Lodos activados	70-95	70-95	0-2	0-1
Filtros percoladores	50-90	70-90	0-2	0-1
Lagunas aireadas	80-90	(c)	1-2	0-1
Zanjas de oxidación	70-95	80-95	1-2	0-1
Lagunas de estabilización	70-85	(c)	1-6	1-4

NOTA: Norma OS.090

Análisis de selección de los procesos de tratamiento para la “PTAR Laberinto”:

Se realizará el análisis de selección de procesos de tratamiento de acuerdo a la Tabla 37, teniendo en cuenta los resultados de la DBO y sólidos en suspensión del ensayo realizado por el laboratorio, determinando la eficiencia de la “PTAR Laberinto” de acuerdo a los parámetros de los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de PTAR (DS N° 003-2010-MINAM), calculando el porcentaje de remoción de la DBO y sólidos en suspensión y de acuerdo a eso elegir un proceso de tratamiento que se pudo haber utilizado en la “PTAR Laberinto” teniendo en cuenta una sostenibilidad técnica-económica antes de elegir el tipo de tratamiento que se acomode a las características de la zona.



Eficiencia de remoción de DBO en la “PTAR Laberinto”: De acuerdo a los Límites Máximos Permisibles, para efluentes vertidos a cuerpos de aguas, en este caso el río Madre de Dios, el cual tiene un caudal considerable como la mayoría de ríos en la selva, se considera la DBO en el punto de salida de 100 mg/L, tal como lo indica la Tabla 6 de la presente investigación y que se encuentra dentro del DS N° 003-2010-MINAM.

Por lo tanto, se tiene una DBO en el afluente de acuerdo a los resultados del ensayo químico del laboratorio de: 565.54 mg/L.

Se considera 100 mg/L en el efluente, eso quiere decir que se queda una DBO en la planta de:

$$565.54 \text{ mg/L} - 100 \text{ mg/L} = 465.54 \text{ mg/L}$$

La eficiencia de la “PTAR Laberinto” de acuerdo a los resultados obtenidos será de:

$$465.54 \text{ mg/L} / 565.54 \text{ mg/L} = 0.8 = 80 \% \text{ de eficiencia de remoción de DBO}$$

Se obtiene una eficiencia de remoción de DBO del 80%, se adapta esta eficiencia a un 85 – 90% de eficiencia porque se toma en cuenta que las PTAR, por lo general, no son operadas y mantenidas adecuadamente, si se considera la situación más crítica se entiende que, se le va a proporcionar un poco más de eficiencia de tratamiento para que cuando existan estos problemas, por lo menos hagan un trabajo adicional como medida de seguridad. Cabe recalcar que siempre va a ser importante empoderar a las localidades para que hagan la operación y mantenimiento de las PTAR en localidad como las de Puerto Rosario - Laberinto.

Este resultado de remoción de 85 – 90% servirá para analizar y elegir el mejor proceso de tratamiento que más se adapte a esta característica de remoción de acuerdo a la Tabla 37. Se analizarán los criterios para elegir la tecnología y cómo trabajan estos procesos de acuerdo a las características de la zona.



Eficiencia de remoción de sólidos en suspensión en la “PTAR Laberinto”: Al igual que el cálculo anterior, de remoción de DBO, en este caso analizaremos la eficiencia de remoción de sólidos en suspensión como indica la Norma OS.090 y la Tabla 37 de acuerdo a los resultados del ensayo químico realizado por el laboratorio.

De acuerdo a los resultados del ensayo químico realizado por el laboratorio, se tiene un valor de sólidos totales en suspensión de 300 mL/L (afluente).

Para este caso, se considera un valor de sólidos totales en suspensión en el punto de salida de 150 mL/L (efluente), tal como lo indican los Límites Máximos Permisibles (LMP) del DS N° 003-2010-MINAM.

Se considera 150 mL/L en el efluente, eso quiere decir que se queda un valor de sólidos totales en suspensión en la planta de:

$$300 \text{ mL/L} - 150 \text{ mL/L} = 150 \text{ mL/L}$$

La eficiencia de la “PTAR Laberinto” de acuerdo a los resultados obtenidos será de:

$150 \text{ mL/L} / 300 \text{ mL/L} = 0.5 = 50 \%$ de eficiencia de remoción de sólidos totales en suspensión

Se obtiene una eficiencia de remoción de sólidos totales en suspensión del 50%, se adapta esta eficiencia a un 55 – 60%.

Este resultado de remoción de 55 – 60% servirá para analizar y elegir el mejor proceso de tratamiento que más se adapte a esta característica de remoción de acuerdo a la Tabla 37.

Se evaluarán los procesos de tratamiento de la Norma OS.090 de acuerdo a los pro y contras que se tengan, porque la localidad de Puerto Rosario – Laberinto, no podría financiar un tratamiento que genere altos costos de operación y mantenimiento.



Selección de procesos de tratamiento para la “PTAR Laberinto” de acuerdo a la

Norma OS.090: De acuerdo a los cálculos realizados anteriormente, se tienen las siguientes eficiencias de remoción:

- Eficiencia de remoción de DBO: 85 – 90%
- Eficiencia de remoción de sólidos totales en suspensión: 55 – 60%

De acuerdo a la Tabla 37, podemos verificar el rango de porcentajes de remoción de DBO y sólidos totales en suspensión de los procesos de tratamiento.

De acuerdo a esta información y con nuestros resultados de eficiencias de remoción, podemos concluir que, se tienen tres procesos de tratamiento que se adaptan a nuestras condiciones y que están dentro del rango permitido para porcentajes de remoción calculados, los cuales son:

LODOS ACTIVADOS: remoción de DBO = 70 – 95% y STS = 70 – 95%

FILTROS PERCOLADORES: remoción de DBO = 70 – 95% y STS = 70 – 95%

ZANJAS DE OXIDACIÓN: remoción de DBO = 70 – 95% y STS = 70 – 95%

Todos estos valores, se encuentran dentro de los porcentajes de eficiencia de remoción calculados anteriormente. A continuación, analizaremos cada uno de estos procesos de tratamiento previamente mencionados y se elegirá el que más se acomode a las características técnico-económicas de la zona.

Análisis del proceso de tratamiento Lodos Activados: Recordar que el principal objetivo del tratamiento secundario es la remoción de la materia orgánica soluble, de la cual se encargan los microorganismos y este proceso de tratamiento secundario cumple un buen funcionamiento para ello.

Una de las principales desventajas en este proceso de tratamiento, es el control operacional, que es especializado y de mayor costo que otras alternativas tecnológicas.



Demanda de un mayor consumo de energía eléctrica para accionar los equipos, lo que eleva notablemente el costo de operación y mantenimiento y requiere de una importante inversión en infraestructura y equipos, que eleva el costo de tratamiento y el manejo de lodos debe realizarse en forma permanente.

Es sensible a los cambios de caudal, carga orgánica y temperatura. Requiere siempre un proceso adicional de desinfección, para remover organismos patógenos.

Por lo tanto, no se recomienda este tipo de tecnología para la localidad de Puerto Rosario – Laberinto, puesto que, al ser un distrito pequeño, no tendría el suficiente financiamiento para solventar los gastos de operación y mantenimiento, asimismo, no existiría una óptima relación técnico-económica, por los altos costos de energía eléctrica generados para este tipo de tratamiento, que influirían negativamente en el aspecto económico de la población.

Otro factor importante es el hecho de requerir personal especializado para el mantenimiento de la “PTAR Laberinto”, el cual no se encuentra dentro de la localidad, ya que es la misma población dispuesta por la Municipalidad Distrital de Laberinto, la que se encarga de la operación de la misma.

Análisis del proceso de tratamiento Filtro Percolador: Este proceso de tratamiento secundario, también genera una muy buena remoción de materia orgánica soluble.

Las principales ventajas en este tipo de tratamiento secundario son: Requiere de un área o espacio físico moderado, mucho menor al del sistema de lagunas, su operación es sencilla, no requiere de energía eléctrica y el costo de inversión es el más bajo de los sistemas aireados, la generación de olores es muy baja, el diseño particularmente corresponde a poblaciones pequeñas y medianas (como la localidad



de Puerto Rosario – Laberinto) y la inclusión de una unidad de tratamiento primario (como es el caso de la “PTAR Laberinto”) puede reducir su volumen.

Por lo tanto, se recomienda esta tecnología para la localidad de Puerto Rosario – Laberinto, dado que es una tecnología de bajo costo de operación y mantenimiento, funciona mayormente por gravedad para abaratar costos y solo un trabajador puede realizar los trabajos de limpieza, asimismo, tiene un mejor funcionamiento por gravedad para los microorganismos y no requieren de energía eléctrica, lo cual no afectaría directamente a la economía de la población.

Se garantiza la retención de sólidos gruesos y sedimentables en el pretratamiento (cámara de rejas, desarenador y canal Parshall) y tratamiento primario (RAFA) de la “PTAR Laberinto”, para evitar olores descargables que se presentarían en caso se elija esta opción de tratamiento secundario.

Análisis del proceso de tratamiento Zanjas de Oxidación: Una zanja de oxidación es una modificación del sistema biológico de tratamiento con lodos activados que utiliza un tiempo extenso de retención de sólidos para la remoción de compuestos orgánicos biodegradables.

Se considera que este tipo de tratamiento tiene una concentración alta de sólidos suspendidos en el efluente, comparadas con otras modificaciones de lodos activados y requiere una superficie de terreno más grande que otras opciones de tratamiento con lodos activados que lo hace muy costoso, restringiendo la factibilidad de uso de las zanjas de oxidación en áreas urbanas, suburbanas y otras áreas en donde el costo de la adquisición de terrenos es relativamente alto.

Bajo estas consideraciones, no se recomienda el uso de esta tecnología para la localidad de Puerto Rosario – Laberinto, por ser principalmente, una modificación del tratamiento de lodos activados la cual se rechazó anteriormente.



CONCLUSIONES DEL ENSAYO REALIZADO POR EL LABORATORIO

“LOUIS PASTEUR”

- 1) Se pudo verificar que, los resultados de los ensayos microbiológicos y químicos realizados por el laboratorio tienen un alto grado de confiabilidad, ya que se encuentran acreditados por el INACAL (Instituto Nacional de Calidad) con registro N° LE-042.
- 2) No se encontró ningún tipo de error por parte del laboratorio en la toma de muestras de agua residual en la matriz de alcantarillado de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto, ya que se siguieron adecuadamente todas las recomendaciones y procedimientos de acuerdo al instructivo otorgado por el mismo laboratorio, lo que también garantiza un alto grado de confiabilidad de los resultados de los ensayos microbiológicos y químicos.
- 3) Se realizó el análisis de resultados en base a la Norma OS.090 del Reglamento Nacional de Edificaciones (Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales), hallando el porcentaje de eficiencia de remoción de DBO y sólidos totales en suspensión de la “PTAR Laberinto”, pudiendo elegir el proceso de tratamiento que más se adapte, de acuerdo a una sostenibilidad técnico-económica, financiamiento, operación, y características de la zona. Recordando que el mantenimiento hace la diferencia en cada proceso de tratamiento.
- 4) Se pudo concluir que, de acuerdo a la Norma OS.090 el proceso de tratamiento de filtros percoladores es el más apropiado para la “PTAR Laberinto”, ya que cumple con el porcentaje de remoción de DBO y sólidos en suspensión requerido por la norma y se adapta a las características de espacio, operación, volumen, olores, requerimiento de energía eléctrica y principalmente se adapta a poblaciones pequeñas y medianas que es una característica de la zona.



3.4.2. Análisis Físico-Bacteriológico, Químico y Parasitológico del efluente de la “PTAR Laberinto”

Se realizó este análisis de acuerdo a los estándares del MINAM (Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR domésticas o municipales y Estándares de Calidad Ambiental para agua) en la DIRESA de Puerto Maldonado con el objetivo de evaluar las condiciones del efluente de la “PTAR Laberinto” y verificar el uso que se le puede dar al efluente de acuerdo a estos parámetros.

Este análisis se realizó en la DIRESA de Puerto Maldonado.

Para el ensayo se nos proporcionaron los frascos esterilizados para el análisis bacteriológico-parasitológico y análisis físico-químico, así como el respectivo “cooler” para el transporte de muestras y que estas mantengan su temperatura.

OBJETIVO GENERAL DEL ENSAYO DIRESA

- Proponer un uso adecuado para el efluente de la “PTAR Laberinto” que cumpla con los estándares de calidad ambiental para agua (ECA) establecidos por el MINAM, así como verificar los límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes de PTAR domésticas o municipales también establecidos por el MINAM.

OBJETIVO ESPECÍFICO DEL ENSAYO DIRESA

- Verificar y priorizar el uso del efluente de la “PTAR Laberinto” para riego de vegetales y bebida de animales de acuerdo a los resultados de los parámetros físico-químicos, inorgánicos, orgánicos, plaguicidas, microbiológicos y parasitológicos (DS-004-2017-MINAM).

EQUIPOS Y MATERIALES

- Disponibilidad del laboratorio de calidad de agua de la DIRESA Puerto Maldonado.

- Guantes quirúrgicos, casco de seguridad, barbijo, zapatos de seguridad, cooler (para transporte de muestras), dos frascos esterilizados (análisis físico-químico y bacteriológico-parasitológico), envase de plástico de aproximadamente 3 Litros (para análisis bacteriológico) y tablero para detallar el procedimiento realizado.

PROCEDIMIENTO PLAN DE MUESTREO DIRESA

1. Colocar el material con los frascos otorgados por la DIRESA Puerto Maldonado al punto de muestreo.
2. Rotular y etiquetar los frascos de acuerdo a los análisis respectivos a realizarse.
3. Llenar, sellar y preservar la muestra para cada uno de los análisis.
4. Inmediatamente la muestra esté preservada, colocar en el cooler.
5. Transportar las muestras a la DIRESA Puerto Maldonado
6. Entregar las muestras para la realización de ensayos: Físico-Bacteriológico, químico y parasitológico.

FIGURAS CORRESPONDIENTES AL PROCEDIMIENTO PARA EL MUESTREO DE AGUA RESIDUAL DIRESA PUERTO MALDONADO

Figura 31

Recepción de materiales en DIRESA Puerto Maldonado



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 32

Llenado de recipientes análisis DIRESA Puerto Maldonado



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 33

Sellado de recipientes análisis DIRESA Puerto Maldonado



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 34

Preservación de muestras análisis DIRESA Puerto Maldonado



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Se realizaron los mismos procedimientos de llenado, sellado y preservación de muestras para los análisis: físico-químico, bacteriológico y parasitológico del efluente de la “PTAR Laberinto”.

Ya habiendo realizado todo este procedimiento cuidadosamente, es que se procedió al transporte y entrega de muestras al laboratorio de la DIRESA Puerto Maldonado.

Figura 35

Transporte de muestras a DIRESA Puerto Maldonado



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 36

Entrega de muestras al laboratorio de DIRESA Puerto Maldonado



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo



RESULTADOS DEL ENSAYO DIRESA PUERTO MALDONADO

Los ensayos, para los parámetros físicos – bacteriológicos, fueron realizados con los equipos del Laboratorio de Microbiología de Aguas y Alimentos de la DESA.

El tipo de muestra fue de Categoría 3- D1: Riego de vegetales: Agua para riego no restringido y restringido.

Los resultados de estos análisis se detallan en las siguientes tablas:

Tabla 38

Resultados de parámetros del análisis Físico - Bacteriológico DIRESA

RESULTADOS PARÁMETROS FÍSICOS - BACTERIOLÓGICOS	
Código de Muestra – LAA - DESA	M - 21
Procedencia	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) - Laberinto
Temperatura Ambiente (°C)	28 °C
Fuente	Agua Residual
Punto de Muestreo	Salida cámara de contacto de cloro
Fecha / hora muestreo	10/12/20 – 10:15 a.m.
Fecha de recepción / hora análisis Bacteriológico	10/12/2020 – 11:10 a.m.
PARÁMETROS FÍSICOS	
pH	6.77
Temperatura de conservación (°C)	23.05
Conductividad	92.0
BACTERIOLÓGICOS	
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml)	2.5×10^2
Escherichia coli (NMP/100 ml)	4.8×10



Tabla 38

Resultados de parámetros del análisis Físico – Bacteriológico DIRESA

Muestreador	Carlos Paul Ramirez Neira
Analista	Dr. Blgo. Roberto Carlos Gonzales Gonzales
Observaciones	Las muestras se tomaron en frascos de vidrio estéril de 250 ml y transportadas en cadena de frío. Las muestras corresponden a la CATEGORIA 3: D1-Riego-Agua para riego no restringido.

NOTA: LAA-ASAB-DESA. RCGG-2020

La Tabla 38 muestra los resultados para los parámetros físicos y bacteriológicos de acuerdo a la Categoría 3-D1 (D.S. 004-2017-MINAM).

El análisis de resultados para estos parámetros se realizará en el Apéndice 1 (conclusiones del ensayo DIRESA Puerto Maldonado).

Tabla 39

Datos de entrada para análisis de parámetros: Metales totales y físico-químico

DATOS DE ENTRADA PARA ANÁLISIS DE PARÁMETROS: METALES TOTALES Y FÍSICO - QUÍMICO	
Código de Laboratorio	M-67
Fuente	Agua Residual
Punto de Muestreo	Salida de la Cámara de contacto de cloro
Fecha de Muestreo	10/12/2020
Hora de Muestreo (h)	10:15
Tipo de Producto	Categoría 3: D1-Riego de vegetales-Agua para riego no restringido

NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 40*Resultados de parámetros del análisis Metales Totales y Físico – Químico*

* METALES TOTALES (ICP-AES)		L.D.M	UNIDAD	RESULTADOS	LIMITES PERMISIBLES
Al	Aluminio	0.001	mg/L	0.02	5.0 mg/L
Cu	Cobre	0.0004	mg/L	0.02	0.2 mg/L
Fe	Hierro	0.0005	mg/L	0.78	5.0 mg/L
Mn	Manganeso	0.0004	mg/L	0.7	0.2 mg/L
Zn	Zinc	0.0009	mg/L	< 0.0009	2.0 mg/L

* FISICO-QUIMICO		L.D.M	UNIDAD	RESULTADOS	LIMITES PERMISIBLES
SO4=	Sulfato	1.0	mg/L	1.00	1000 mg/L
NO2	Nitrito	0.006	mg/L	< 0.006	10 mg/L
NO3	Nitrato	0.2	mg/L	1.60	100 mg/L

NOTA: Decreto Supremo N°004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales D1: Riego de Vegetales-Límites Máximos Permisibles de Parámetros Físico-Químicos e Inorgánicos.

APÉNDICE 1 – CONCLUSIONES DEL ENSAYO DIRESA PUERTO MALDONADO

Para la muestra, con código M-67, se analiza para los parámetros: Al, Cu, Fe, Zn, SO4, NO2 y NO3, no sobrepasan los límites permisibles; mientras que el parámetro Mn sobrepasa el límite permisible.

Estos resultados fueron recepcionados con las siguientes recomendaciones:

- Los resultados del presente ensayo, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad, solo de carácter REFERENCIAL.

- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente.

RESULTADOS CUALITATIVOS - ENSAYOS: DETERMINACIÓN DE PROTOZOOS Y HELMINTOS PARÁSITOS. (A ó P/L)⁽²⁾

Tabla 41

Resultados Cualitativos – Ensayos determinación de protozoos y helmintos parásitos

Código		Muestra			Ensayos
Lab.	Código de campo	Matriz	Fecha/hora muestreo ⁽¹⁾	Punto de muestreo ⁽¹⁾	Determinación de protozoos y helmintos parásitos (A ó P/L) ⁽²⁾
M-55	M01	Agua Residual	10/12/2020 12:12 p.m.	Salida de la cámara de contacto de cloro	<i>Entamoeba coli</i>

NOTA: DIRESA Puerto Maldonado. Oficio N°1475-2020-GOREMAD/DIRESA-ASB-DESA-DG

De acuerdo a la Tabla 41, para los ECA, no se encontró la presencia de huevos de helmintos, que, de acuerdo a los ECA, tienen como límite máximo permisible 1.

Por lo cual, de acuerdo a los ECA, la cantidad de huevos de helmintos no excede al parámetro establecido por el MINAM.

La presencia de *Entamoeba coli*, no está considerada dentro de los ECA.

Las observaciones que se encontraron en el ensayo fueron las siguientes:

- Se observó en las muestras, materia orgánica en descomposición, organismo de vida libre tales como: algas, diatomeas y nematodos.

Muestra agotada en los ensayos:

- ⁽¹⁾ Datos proporcionados por personal responsable del muestreo.
- ⁽²⁾ Ausencia o presencia de quistes de protozoos y huevos de helmintos parásitos.



ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DIRESA PUERTO MALDONADO

El análisis de resultados se hace en base a los estándares de calidad ambiental para agua (ECA) establecidos por el MINAM (D.S. N°-004-2017-MINAM), esto responde a los objetivos de la investigación.

En el caso de los análisis realizados por la DIRESA Puerto Maldonado (Físico-Bacteriológico, Químico y Parasitológico del efluente de la “PTAR Laberinto”), se verificó que, se priorizó el análisis de resultados para la Categoría 3-D1 del D.S. N°-004-2017-MINAM [Riego de vegetales (agua para riego no restringido (c) y agua para riego restringido)], esto debido a que, de acuerdo a la SUNASS, un principal desafío en el diagnóstico de las PTAR a nivel nacional es:

- **Respecto al marco normativo:** Falta de autorización para el vertimiento o reúso (más de 90%), valores de estándares de calidad ambiental (ECA Agua) muy estrictos, falta de lugares autorizados para la disposición final de lodos y residuos sólidos de las PTAR y falta de regulación en el manejo de lodos para reúso agrícola. Es por ello que, de acuerdo a este criterio, y también de acuerdo al criterio del investigador, se consideró importante priorizar la Categoría 3-D1 de los estándares de calidad ambiental (ECA).

El D.S. N°-004-2017-MINAM, establece los siguientes parámetros para la Categoría 3-D1 [Riego de vegetales (agua para riego no restringido (c) y agua para riego restringido)], los cuales se comparan con los resultados del análisis Físico-Bacteriológico, Químico y Parasitológico del efluente de la “PTAR Laberinto” realizado por la DIRESA Puerto Maldonado, toda esta información se resume en la Tabla 42.

Tabla 42

Límites permisibles Categoría 3-D1 (riego de vegetales) comparados con resultados de la DIRESA Puerto Maldonado

Parámetros	Unidad de medida	C3 - D1: Riego de vegetales		Resultados DIRESA
		(Límites Permisibles)		
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	
FÍSICO – QUÍMICOS				
Conductividad	(μ S/cm)	2500		92.0
Nitrito (NO ₂)	mg/L	10		< 0.006
Nitrato (NO ₃)	mg/L	100		1.60
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5 – 8.5		6.77
Sulfatos	mg/L	1000		1.00
Temperatura	°C	Δ 3		23.05
INORGÁNICOS				
Aluminio (Al)	mg/L	5		0.02
Cobre (Cu)	mg/L	0.2		0.02
Hierro (Fe)	mg/L	5		0.78
Manganeso (Mn)	mg/L	0.2		0.7
Zinc (Zn)	mg/L	2		< 0.0009
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1000	2000	2.5 x 10 ²
Escherichia coli	NMP/100 ml	1000	**	4.8 x 10
Huevos de helmintos	Huevo/L	1	1	0

NOTA: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales D1: Riego de Vegetales – Límites Máximos Permisibles

NOTA (Tabla 42):

$\Delta 3$ = Significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta subcategoría.

Análisis Final: Se puede analizar de estos resultados a partir de la Tabla 42 que, tanto los parámetros Físico – Químicos y Microbiológicos-Parasitológicos no exceden en ninguno de sus apartados los límites máximos permisibles impuestos por los estándares de calidad ambiental (ECA) a excepción de los parámetros Inorgánicos de los cuales solo el parámetro de Manganeseo (Mn) excede en 0.5 mg/L el límite máximo permisible, en comparación de los otros apartados de estos parámetros inorgánicos, donde ninguno de ellos excede los límites máximos permisibles, es por ello que analizaremos ese parámetro a detalle.

Problemática asociada a la presencia de Manganeseo (Mn) en el agua de riego: El Manganeseo puede causar síntomas de toxicidad y deficiencia en plantas, cuando el pH del suelo es bajo las deficiencias de manganeseo son más comunes.

Concentraciones altamente tóxicas de Manganeseo en suelo pueden causar inflamación de la pared celular, abrasamiento de las hojas y puntos marrones en las hojas. En cantidades excesivas reducen el crecimiento y provocan acumulaciones indeseables en los tejidos, como resultado de las investigaciones realizadas por la FAO (Food and Agriculture Organization), reconoce que la mayoría de los oligoelementos se fijan y se acumulan, irreversiblemente en el suelo, el exceso de lo requerido por la planta eventualmente llega a contaminar a los suelos, los cuales pueden convertirse en suelos improductivos o producir cosechas inaceptables.



La normativa a nivel Nacional e Internacional, como: Guía Canadiense del Agua, FAO, Calidad de Protección de Aguas Superficiales, Manual de evaluación y Manejo de Sustancias Tóxicas en Aguas Superficiales del CEPIS, Norma Técnica para Aguas Honduras, etc., establece el valor de concentración promedio de 0.5 mg/L para este parámetro.

Justificación del uso parámetro Manganeso (Mn): De acuerdo al análisis de estas normas nacionales e internacionales, se puede concluir que, al ser el único parámetro fuera de los límites permisibles dentro de todos los análisis realizados, y al no ser una diferencia amplia sobre estos límites (de acuerdo a la normativa nacional e internacional), la variación de valores en este parámetro no justifica ser muy considerable para la categoría 3 C3 – D1 de los estándares de calidad ambiental (ECA) del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, ya que no afecta directamente en un porcentaje amplio, y esto no trae como consecuencia daños perjudiciales para el riego, tal como se mencionó anteriormente. Cabe resaltar que este parámetro en la mayoría de casos tiene un efecto perjudicial cuando los valores de Manganeso y Hierro están por encima de los límites permisibles, ya que al actuar juntos son muy perjudiciales, situación que no sucede en este caso, ya que el hierro está muy por debajo del límite permisible.

En el caso del parámetro Físico – Químico de Temperatura (Tabla 42), se recuerda que, de acuerdo al expediente técnico e información del proyecto la temperatura promedio anual del agua residual es de 25 °C, y al hacer el análisis Físico – Químico, esta alcanzó un valor de 23.05 °C y se encuentra dentro de los límites permisibles, por lo que, de acuerdo a la categoría 3 C3 – D1 de los estándares de calidad ambiental (ECA) del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, solo puede existir una variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual



multianual del área evaluada, alcanzando un valor máximo de temperatura del efluente de 26.05 °C, que es mayor a 25 °C (temperatura promedio anual), lo cual está dentro de los límites permisibles para este parámetro. Se justifica así el uso de estos dos parámetros (Manganeso y Temperatura).

Con lo que respecta a los otros parámetros, todos estos se encuentran dentro de los límites permisibles de acuerdo a la categoría 3 C3 – D1 de los estándares de calidad ambiental (ECA) del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

CONCLUSIONES DEL ENSAYO DIRESA PUERTO MALDONADO

- 1) En el artículo 150 de Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos señala que la Autoridad Nacional del Agua (ANA) es responsable de autorizar el reúso de las aguas residuales tratadas y que la autoridad administrativa del agua correspondiente es la encargada del control y vigilancia del reúso de las aguas residuales tratadas. En el caso del reúso para riego de áreas verdes, se requiere la opinión técnica favorable de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), que dentro de sus funciones vigila los aspectos de salud pública en parques y áreas verdes de uso público. Se advierte la necesidad de que el país cuente con una guía de buenas prácticas de riego y manejo adecuado de suelos con aguas residuales tratadas por parte de los agricultores.
- 2) Se pudo verificar que, al hacer la comparación de los parámetros que se encuentran en la categoría 3 C3 – D1 de los estándares de calidad ambiental (ECA) del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM (Límites Permisibles), con los parámetros que se encontraron como resultados de los ensayos Físico-Bacteriológico, Químico y Parasitológico del efluente de la “PTAR Laberinto” realizado por la DIRESA Puerto Maldonado, estos no exceden los límites permisibles en su totalidad, a excepción del Manganeso del cual se justificó su

uso anteriormente. Por lo tanto, se concluye que, el efluente de la “PTAR Laberinto”, es apta para el uso de Riego de Vegetales (agua para riego no restringido y agua para riego restringido) ya que cumple con los parámetros establecidos por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM y su uso sería de un beneficio considerable para la localidad de Laberinto.

- 3) La poca presencia de manganeso, puede ser removida de acuerdo a varios procesos. La tecnología de tratamiento para la remoción del manganeso consiste en la conversión del ión manganeso soluble a un precipitado insoluble. Esto se realiza de manera simultánea con la remoción del hierro, dado que las condiciones son similares. La remoción del manganeso es afectada por el grado de oxidación del ión manganeso y por la separación de los óxidos e hidróxidos insolubles de manganeso. En Tabla 43 se indican los procesos de remoción de manganeso más comunes. A causa de la baja reactividad del ión manganeso con el oxígeno, la simple aireación no es una técnica efectiva de oxidación a pH menor de 9 y a veces a valores mayores a esto, el proceso de oxidación es muy lenta. La materia orgánica en solución puede combinarse con el manganeso e impedir su oxidación por simple aireación aun a altos valores de pH
- La Tabla 43 resume las eficiencias de tratamiento logrado por medio de plantas de tratamiento.

Tabla 43

Eficiencias de tratamiento logrado para la remoción de manganeso

PROCESOS	COMENTARIOS
Aereación	Lento e inefectivo a pH menores a 9.0
Cloración (oxidación en cloro)	No efectivo para compuestos orgánicos
Ajuste de pH	El tratamiento con cal – soda permite remociones a pH 9.5

Tabla 43

Eficiencias de tratamiento logrado para la remoción de manganeso

Catálisis	Iones de cobre facilitan la oxidación con aire
Intercambio iónico	Efectivo para pequeñas cantidades de hierro y manganeso
Dióxido de cloro	Oxida rápidamente el manganeso pero es muy caro
Adición de permanganato de potasio	Requiere de filtración

NOTA: Valencia Espinoza, CE. (2014). Química del hierro y manganeso en el agua, métodos de remoción

Se puede concluir que, de acuerdo a la información anteriormente mencionada (Tabla 43), los procesos más óptimos para la remoción de manganeso, del efluente de la “PTAR Laberinto”, son los siguientes: Aereación (ya que se obtuvo un pH menor a 9), catálisis, intercambio iónico y adición de permanganato de potasio.

Todos estos procesos son referentes para la remoción de manganeso de la “PTAR Laberinto”.



3.5. METODOS ESTADÍSTICOS

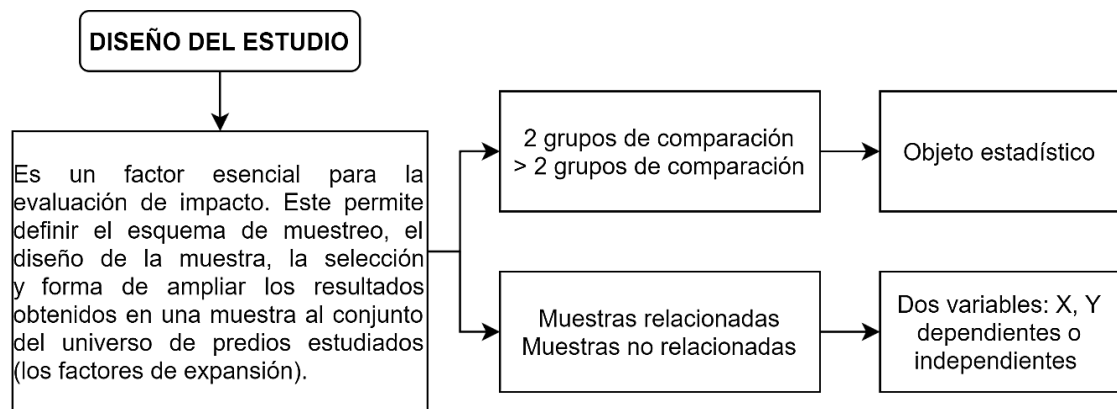
Para elegir la metodología estadística de la investigación, de acuerdo a nuestro tipo de variable, se tomó como referencia comparar dos grupos, que son los valores de los resultados del diseño del software y la memoria de cálculo del expediente técnico, así como los valores del diseño del Manual del CONAGUA y también la memoria de cálculo del expediente técnico. El análisis estadístico se divide en dos partes:

- **Análisis Descriptivo:** Se mencionan las características individuales de una población o una muestra (medidas de tendencia central, dispersión, frecuencia, etc.).
- **Análisis Inferencial:** Significa realizar conclusiones acerca de una población a partir de datos obtenidos de una muestra.

En este caso estamos dentro del análisis inferencial porque los datos obtenidos son aplicables a la población total (PTAR Laberinto) y en base a esos datos se realizan las conclusiones, son procesos complementarios.

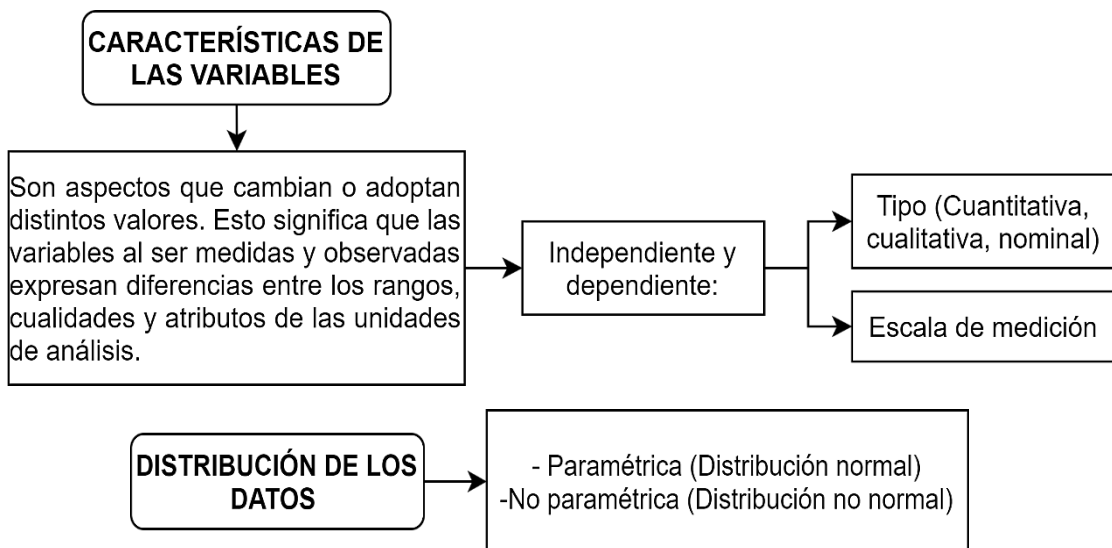
Para asegurar que esas conclusiones sean válidas hacia nuestra población, utilizamos la prueba estadística, que significa establecer la probabilidad de que las conclusiones sean aplicables a la población (PTAR Laberinto). Las bases para la selección de la prueba estadística son las siguientes:

Figura 37
Diseño del estudio estadístico



NOTA: Florez-Ruiz, E., Miranda-Novales, M. y Villasis-Keever, M. 2017

Figura 38
Características de las variables y distribución de datos estadísticos



NOTA: Florez-Ruiz, E., Miranda-Novales, M. y Villasis-Keever, M. 2017

Para este caso, se obtiene una variable cuantitativa dicotómica (ya que se tratan de valores numéricos que fueron comparados en los procesos de diseño), el tipo de muestra que vamos a comparar son dos grupos o muestras relacionadas (ver la eficacia del software y el manual del CONAGUA, así como comparar la eficacia antes y después del proceso de tratamiento). Una variable cuantitativa, es para comparar medias (distribución paramétrica) o medianas (distribución no paramétrica), para saber

si la distribución es paramétrica o no paramétrica (normal o no normal), usaremos la prueba de normalidad.

- **PRUEBA DE NORMALIDAD:** Se tienen principalmente dos:
 - Kolmogorov Smirnov > 50 datos \wedge - Shapiro Wilk < 50 datos

Toda esta información se calculará de acuerdo al software IBM SPSS.

La significancia de los dos tipos de hipótesis es la siguiente:

- H_0 = Hipótesis nula = Distribución normal o paramétrica ($p > 0.05$).
- H_a = Hipótesis alterna = Distribución anormal o no paramétrica ($p \leq 0.05$).

Valor $p \leq 0.05$: Los datos no siguen una distribución normal (Rechaza H_0):

Si el valor p es menor que o igual al nivel de significancia, la decisión es rechazar la hipótesis nula y concluir que sus datos no siguen una distribución normal.

Valor $p > 0.05$: No se puede concluir que los datos no siguen una distribución normal (No puede rechazar H_0):

“Si el valor p es mayor que el nivel de significancia, la decisión es que no se puede rechazar la hipótesis nula. No se tiene suficiente evidencia para concluir que los datos no siguen una distribución normal”.

“La prueba de normalidad se utiliza para determinar si un conjunto de datos está bien modelado por una distribución normal o no normal (paramétrica o no paramétrica).

El nivel de significancia es la máxima cantidad de error que estamos dispuestos a aceptar para dar como válida la hipótesis del investigador, para las pruebas de normalidad analizadas en el software estadístico IBM SPSS se debe tener en cuenta que, para muestras con menos de 50 datos, se utiliza la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, la cual indica que, si el valor de significancia obtenido



de la prueba de normalidad es menor que 0.05 (nivel de significancia optado) entonces las variables tienen distribución No normal y si la significancia es mayor que 0.05, entonces las variables tienen distribución normal”.

Las variables con distribución normal utilizarán el coeficiente de correlación de Pearson y para las variables que tengan una distribución no normal se utilizará el coeficiente de correlación de Spearman.

Para analizar estadísticamente los datos de nuestros resultados obtenidos, primeramente, analizaremos la prueba de normalidad con el software estadístico IBM SPSS de cada uno de los procesos de tratamiento que fueron diseñados por el software “PTAR DISEÑO” y comparados con la memoria de cálculo del expediente técnico.

Para comenzar la metodología estadística, se analiza la prueba de normalidad para el diseño del proceso de cámara de rejillas de la “PTAR Laberinto”, la cual se obtiene, ingresando los datos que fueron los resultados de la comparación del diseño del software “PTAR DISEÑO” con la memoria de cálculo del expediente técnico, los cuales se encuentran en la Tabla 28.

En este caso, se tienen doce datos, que vienen a ser los grados de libertad (gl), para un nivel de significancia de 5% ($\alpha = 0.05$), lo que obtendremos como resultado en el software es el “P_{VALOR}”, el cual se comparará con el “ α ” para analizar si es una distribución paramétrica o no paramétrica y de acuerdo a eso elegir qué tipo de prueba usar.

PRUEBA DE NORMALIDAD PARA EL DISEÑO DE CÁMARA DE REJAS SEGÚN EL SOFTWARE IBM SPSS: Los datos fueron ingresados de acuerdo a la Tabla 28 (resultados del diseño por el software “PTAR DISEÑO” y memoria de cálculo del expediente técnico – Acápite 3.3.3 de la investigación) como variables en el software IBM SPSS.

Para este caso utilizaremos la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk, ya que solo se tienen 12 datos (grado de libertad) y esta prueba puede ser utilizada cuando se tengan menor igual a 50 datos. Los resultados para la prueba de normalidad de acuerdo al software IBM SPSS para el proceso de cámara de rejas son los siguientes:

Tabla 44
Prueba de normalidad diseño de Cámara de Rejas

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig. (p)	Estadístico	gl	Sig. (p)
PTAR.DISEÑO_CR	0,377	12	0,000	0,611	12	0,000
MEM.CÁLCULO_CR	0,392	12	0,000	0,581	12	0,000

NOTA: Software IBM SPSS

Interpretación: Según la Tabla 44 de prueba de normalidad, observamos que el gl (grado de libertad) es de $12 < 50$ datos, por lo que se utilizará la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk.

A su vez el (p) valor que es el nivel de significancia es de $0,000 < 0,05$ (α), lo cual determina que nuestra distribución de datos es no normal y por lo tanto la hipótesis se realizará por la prueba **NO PARAMÉTRICA**.

El mismo análisis se realizará con el software IBM SPSS para los otros procesos de tratamiento que fueron diseñados por el software “PTAR DISEÑO” comparados con la memoria de cálculo del expediente técnico.

PRUEBA DE NORMALIDAD PARA EL DISEÑO DE DESARENADOR SEGÚN EL SOFTWARE IBM SPSS: Los datos fueron ingresados de acuerdo a la Tabla 29 (análisis comparativo de resultados del diseño por el software “PTAR DISEÑO” y memoria de cálculo del expediente técnico – Acápites 3.3.3) como variables en el software IBM SPSS.



Para este caso utilizaremos la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk, ya que solo se tienen 7 datos (grado de libertad) y esta prueba puede ser utilizada cuando se tengan menor igual a 50 datos. Los resultados para la prueba de normalidad de acuerdo al software IBM SPSS para el proceso de desarenador son los siguientes:

Tabla 45
Prueba de normalidad diseño de Desarenador

PRUEBA DE NORMALIDAD DISEÑO DESARENADOR						
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig. (p)	Estadístico	gl	Sig. (p)
PTAR.DISEÑO_DES	0,322	7	0,027	0,718	7	0,006
MEM.CÁLCULO_DES	0,301	7	0,054	0,782	7	0,027

NOTA: Software IBM SPSS

Interpretación: Según la Tabla 45 de prueba de normalidad, observamos que el gl (grado de libertad) es de $7 < 50$ datos, por lo que se utilizará la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk.

A su vez el (p) valor que es el nivel de significancia es de $0,006$ y $0,027 < 0,05$ (α), lo cual determina que nuestra distribución de datos es no normal y por lo tanto la hipótesis se realizará por la prueba **NO PARAMÉTRICA**.

PRUEBA DE NORMALIDAD PARA EL DISEÑO DEL CANAL PARSHALL SEGÚN EL SOFTWARE IBM SPSS: Los datos fueron ingresados de acuerdo a la Tabla 30 (análisis comparativo de resultados del diseño por el software “PTAR DISEÑO” y memoria de cálculo del expediente técnico – Acápites 3.3.3) como variables en el software IBM SPSS.

Para este caso utilizaremos la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk, ya que solo se tienen 6 datos (grado de libertad) y esta prueba puede ser utilizada cuando se

tengan menor igual a 50 datos. Los resultados para la prueba de normalidad de acuerdo al software IBM SPSS para el proceso del Canal Parshall son los siguientes:

Tabla 46
Prueba de normalidad diseño del Canal Parshall

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig. (p)	Estadístico	gl	Sig. (p)
PTAR.DISEÑO_CANPARSH	0,345	6	0,025	0,623	6	0,001
MEM.CÁLCULO_CANPARSH	0,421	6	0,001	0,561	6	0,000

NOTA: Software IBM SPSS

Interpretación: Según la Tabla 46 de prueba de normalidad, observamos que el gl (grado de libertad) es de $6 < 50$ datos, por lo que se utilizará la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk.

A su vez el (p) valor que es el nivel de significancia es de 0,001 y $0,000 < 0.05$ (α), lo cual determina que nuestra distribución de datos es no normal y por lo tanto la hipótesis se realizará por la prueba **NO PARAMÉTRICA**.

PRUEBA DE NORMALIDAD PARA EL DISEÑO DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA) SEGÚN EL SOFTWARE IBM SPSS: Los datos fueron ingresados de acuerdo a la Tabla 31 (análisis comparativo de resultados del diseño por el software “PTAR DISEÑO” y memoria de cálculo del expediente técnico – Acápite 3.3.3) como variables en el software IBM SPSS.

Todas las pruebas de normalidad anteriormente calculadas vienen a ser parte del pre-tratamiento diseñado por el software “PTAR DISEÑO” de la “PTAR Laberinto”, en este punto se analizará el tratamiento secundario (RAFA) por lo que se obtendrán mayores variables para analizar.

Para este caso utilizaremos la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk, ya que solo se tienen 16 datos (grado de libertad) y esta prueba puede ser utilizada cuando se tengan menor igual a 50 datos. Los resultados para la prueba de normalidad de acuerdo al software IBM SPSS para el proceso del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente son los siguientes:

Tabla 47*Prueba de normalidad diseño del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente*

PRUEBA DE NORMALIDAD DISEÑO REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE						
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig. (p)	Estadístico	gl	Sig. (p)
PTAR.DISEÑO_RAFA	0,379	16	0,000	0,650	16	0,000
MEM.CÁLCULO_RAFA	0,376	16	0,000	0,665	16	0,000

NOTA: Software IBM SPSS

Interpretación: Según la Tabla 47 de prueba de normalidad, observamos que el gl (grado de libertad) es de $16 < 50$ datos, por lo que se utilizará la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk.

A su vez el (p) valor que es el nivel de significancia es de 0,000 y $0,000 < 0.05$ (α), lo cual determina que nuestra distribución de datos es no normal y por lo tanto la hipótesis se realizará por la prueba **NO PARAMÉTRICA**.

PRUEBA DE NORMALIDAD RAFA – MANUAL DEL CONAGUA

A continuación, analizaremos también la prueba de normalidad del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) con el software estadístico IBM SPSS, pero esta vez bajo la fuente bibliográfica del Manual del CONAGUA (ver acápite 3.3.4 de la investigación), que fue comparado con la memoria de cálculo del expediente técnico, manteniendo un nivel de significancia de 5% ($\alpha = 0.05$).

Los datos fueron ingresados de acuerdo a la Tabla 33 (análisis comparativo de resultados del diseño por el Manual de CONAGUA y memoria de cálculo del expediente técnico del RAFA) como variables en el software IBM SPSS.

Para este caso utilizaremos la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk, ya que solo se tienen 16 datos (grado de libertad) y esta prueba puede ser utilizada cuando se tengan menor igual a 50 datos. Los resultados para la prueba de normalidad de acuerdo al software IBM SPSS para el proceso del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente según el Manual del CONAGUA, son los siguientes:

Tabla 48

Prueba de normalidad diseño del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente - Manual CONAGUA

PRUEBA DE NORMALIDAD DISEÑO REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE – MANUAL CONAGUA						
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig. (p)	Estadístico	gl	Sig. (p)
CONAGUA_RAFA	0,365	16	0,000	0,695	16	0,000
MEM.CÁLCULO_RAFA	0,376	16	0,000	0,665	16	0,000

NOTA: Software IBM SPSS

Interpretación: Según la Tabla 48 de prueba de normalidad, observamos que el gl (grado de libertad) es de $16 < 50$ datos, por lo que se utilizará la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk.

A su vez el (p) valor que es el nivel de significancia es de 0,000 y $0,000 < 0.05$ (α), lo cual determina que nuestra distribución de datos es no normal y por lo tanto la hipótesis se realizará por la prueba **NO PARAMÉTRICA**.

Con esta interpretación, culminamos el análisis por el software IBM SPSS del diseño del pre-tratamiento y tratamiento secundario de la “PTAR Laberinto” ejecutado



por el software “PTAR DISEÑO” así como el análisis del RAFA por el Manual del CONAGUA.

Podemos concluir que todas nuestras pruebas de normalidad para estos procesos resultaron ser de una distribución **NO NORMAL O NO PARAMÉTRICA**.

Para elegir el tipo de metodología a usar se utilizaron los tipos de metodología estadística usadas para comparar dos grupos.

De acuerdo a este contexto, se analizaron dos muestras relacionadas (diseño del software “PTAR DISEÑO” y diseño del RAFA con el Manual del CONAGUA comparados con la memoria de cálculo del expediente técnico) con una distribución no paramétrica en todos los casos, ya que se analizaron las pruebas de normalidad para cada uno de estos procesos, es por ello que de acuerdo a este esquema elegiremos la Prueba de Wilcoxon (para dos muestras relacionadas con una distribución no paramétrica).

- **PRUEBA DE WILCOXON:**

La prueba de Wilcoxon comienza con el planteamiento de la hipótesis nula e hipótesis alterna para cada uno de los procesos de tratamiento de los cuales se realizaron las pruebas de normalidad.

Seguidamente se establece un nivel de significancia al igual que las pruebas de normalidad, el cual será por convención igual a las pruebas de normalidad: ($\alpha = 0.05$).

Bajo este concepto, analizaremos las hipótesis nulas y alternas para cada uno de los procesos de los que se realizaron las pruebas de normalidad.

Estas hipótesis relacionan la variación del diseño del software “PTAR DISEÑO” y Manual del CONAGUA comparado con el diseño de la memoria de cálculo del expediente técnico.



- HIPÓTESIS NULA Y ALTERNA PARA LA PRUEBA DE WILCOXON

HIPÓTESIS NULA (H_0): “La hipótesis nula indica que un parámetro de población (tal como la media, la desviación estándar, etc.) es igual a un valor hipotético. La hipótesis nula suele ser una afirmación inicial que se basa en análisis previos o en conocimiento especializado”.

HIPÓTESIS ALTERNA (H_a): “La hipótesis alternativa indica que un parámetro de población es más pequeño, más grande o diferente del valor hipotético de la hipótesis nula. La hipótesis alternativa es lo que se podría pensar que es cierto o espera probar que es cierto”.

- PRUEBA DE WILCOXON POR EL SOFTWARE IBM SPSS

Para comenzar con el análisis de esta prueba por el software IBM SPSS, primeramente, compararemos las dos variables iguales a las de las pruebas de normalidad para cada uno de los procesos, eso quiere decir comparar los diseños del software “PTAR DISEÑO”, así como el diseño del RAFA por el Manual del CONAGUA con la memoria de cálculo del expediente técnico.

Para ello en el software IBM SPSS nos vamos al ícono de analizar, en la pestaña no paramétricas, cuadro de diálogos antiguos y 2 muestras relacionadas.

Seguidamente, seleccionamos nuestras variables para cada uno de los procesos al igual que en la prueba de normalidad y verificamos que esté seleccionada la prueba de Wilcoxon.

Una vez realizado este proceso, el software nos mostrará una ventana en la cual aparecen una serie de cuadros para esta prueba, de los cuales el más importante es el de “Estadísticos de contraste”, donde tenemos el “P_{VALOR}” o la significancia asintótica bilateral, este valor de acuerdo al ritual estadístico se analizará si es mayor o menor a nuestro nivel de significancia.



- INTERPRETACIÓN DEL “P_{VALOR}” PARA LA PRUEBA DE WILCOXON

Si el “P_{VALOR}” o la significancia asintótica bilateral es “ p ” < $\alpha = 0.05$ se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

Si el “P_{VALOR}” o la significancia asintótica bilateral es “ p ” > $\alpha = 0.05$ se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

Esta interpretación se realizará para cada una de las variables de los procesos de pre-tratamiento y tratamiento secundario de los que se hicieron las pruebas de normalidad, aceptando o rechazando las hipótesis alternas y nulas para la prueba de Wilcoxon de acuerdo al software IBM SPSS.

PRUEBA DE WILCOXON PARA EL DISEÑO DE CÁMARA DE REJAS SEGÚN EL SOFTWARE IBM SPSS:

Primeramente, planteamos nuestra hipótesis nula y alterna para el análisis de este proceso mediante la prueba de Wilcoxon, este análisis se basa en la variación de las variables de los resultados del proceso de diseño de cámara de rejillas del software “PTAR DISEÑO” con la memoria de cálculo del expediente técnico. Estas hipótesis son las siguientes:

HIPÓTESIS ALTERNA (H_a): El diseño de cámara de rejillas para la “PTAR Laberinto” con el software “PTAR DISEÑO” no varía respecto a la memoria de cálculo del expediente técnico.

HIPÓTESIS NULA (H₀): El diseño de cámara de rejillas para la “PTAR Laberinto” con el software “PTAR DISEÑO” varía respecto a la memoria de cálculo del expediente técnico.

Recordar que la hipótesis alterna puede ser negativa, ya que lo que se quiere demostrar es que no exista una variación significativa del software “PTAR DISEÑO” con la memoria de cálculo.

Las variables para este proceso son las mismas a las de la prueba de normalidad, el procedimiento realizado en el software es el ya indicado anteriormente (ícono de analizar, en la pestaña no paramétricas, cuadro de diálogos antiguos y 2 muestras relacionadas), seguidamente se seleccionan las variables y prueba de Wilcoxon, en el cual aparecen los resultados para el diseño de cámara de rejas comparando el diseño del software “PTAR DISEÑO” y memoria de cálculo del expediente técnico, tal como se muestra en la Tabla 49. Este procedimiento aplica para todos los procesos.

Tabla 49
Estadísticos de contraste^a diseño Cámara de rejas

	MEM.CÁLCULO_CR – PTAR.DISEÑO_CR
Z	-0.561 ^b
Sig. asintót. (bilateral)	0.575

a. Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon

b. Basado en los rangos positivos

NOTA: Software IBM SPSS

Interpretación: Podemos observar que el “P_{VALOR}” o significancia asintótica bilateral es 0.575, este valor de acuerdo al ritual estadístico planteado, con un nivel de significancia de ($\alpha = 0.05$) resulta ser $\alpha < 0.575$, por lo que de acuerdo a la interpretación del “P_{VALOR}” (“p” > 0.05) **se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.**

Eso quiere decir que existe una variación mínima en el diseño del proceso de cámara de rejas del software “PTAR DISEÑO” respecto a la memoria de cálculo del expediente técnico para la “PTAR Laberinto”.

PRUEBA DE WILCOXON PARA EL DISEÑO DE DESARENADOR SEGÚN EL SOFTWARE IBM SPSS:

Al igual que el anterior análisis, primeramente, planteamos nuestra hipótesis nula y alterna, basadas en las variables de los resultados del proceso de diseño del software “PTAR DISEÑO” y la memoria de cálculo del expediente técnico. Estas hipótesis son las siguientes:

HIPÓTESIS ALTERNA (H_a): El diseño del desarenador para la “PTAR Laberinto” con el software “PTAR DISEÑO” no varía respecto a la memoria de cálculo del expediente técnico.

HIPÓTESIS NULA (H₀): El diseño del desarenador para la “PTAR Laberinto” con el software “PTAR DISEÑO” varía respecto a la memoria de cálculo del expediente técnico.

Recordar que la hipótesis alterna puede ser negativa, ya que lo que se quiere demostrar es que no exista una variación significativa del software “PTAR DISEÑO” con la memoria de cálculo.

Estos resultados de acuerdo al software IBM SPSS, se aprecian en la Tabla 50.

Tabla 50
Estadísticos de contraste^a diseño desarenador

	MEM.CÁLCULO_DES – PTAR.DISEÑO_DES
Z	-2.117 ^b
Sig. asintót. (bilateral)	0.334

a. Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon

b. Basado en los rangos positivos

NOTA: Software IBM SPSS

Interpretación: Podemos observar que el “P_{VALOR}” o significancia asintótica bilateral es 0.334, este valor de acuerdo al ritual estadístico planteado, con un nivel de significancia de ($\alpha = 0.05$) resulta ser $\alpha < 0.334$, por lo que de acuerdo a la interpretación del “P_{VALOR}” (“p” > 0.05) **se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.**

Eso quiere decir que existe una variación mínima en el diseño del proceso de desarenador del software “PTAR DISEÑO” respecto a la memoria de cálculo del expediente técnico para la “PTAR Laberinto”.

PRUEBA DE WILCOXON PARA EL DISEÑO DEL CANAL PARSHALL SEGÚN EL SOFTWARE IBM SPSS:

Al igual que el anterior análisis, primeramente, planteamos nuestra hipótesis nula y alterna, basadas en las variables de los resultados del proceso de diseño del software “PTAR DISEÑO” y la memoria de cálculo del expediente técnico. Estas hipótesis son las siguientes:

HIPÓTESIS ALTERNA (H_a): El diseño del canal Parshall para la “PTAR Laberinto” con el software “PTAR DISEÑO” no varía respecto a la memoria de cálculo del expediente técnico.

HIPÓTESIS NULA (H₀): El diseño del canal Parshall para la “PTAR Laberinto” con el software “PTAR DISEÑO” varía respecto a la memoria de cálculo del expediente técnico.

Recordar que la hipótesis alterna puede ser negativa, ya que lo que se quiere demostrar es que no exista una variación significativa del software “PTAR DISEÑO” con la memoria de cálculo.

Estos resultados de acuerdo al software IBM SPSS, se aprecian en la Tabla 51.

Tabla 51
Estadísticos de contraste^a diseño Canal Parshall

	MEM.CÁLCULO_CANPARSH – PTAR.DISEÑO_CANPARSH
Z	-0.365 ^b
Sig. asintót. (bilateral)	0.715

a. Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon

b. Basado en los rangos positivos

NOTA: Software IBM SPSS



Interpretación: Podemos observar que el “ P_{VALOR} ” o significancia asintótica bilateral es 0.715, este valor de acuerdo al ritual estadístico planteado, con un nivel de significancia de ($\alpha = 0.05$) resulta ser $\alpha < 0.715$, por lo que de acuerdo a la interpretación del “ P_{VALOR} ” (“ p ” > 0.05) **se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.**

Eso quiere decir que existe una variación mínima en el diseño del proceso del canal Parshall del software “PTAR DISEÑO” respecto a la memoria de cálculo del expediente técnico para la “PTAR Laberinto”.

Con esto concluimos en análisis de la prueba de Wilcoxon para el pre-tratamiento de la “PTAR Laberinto” (cámara de rejillas, desarenador y canal Parshall), seguidamente pasaremos a hacer el mismo análisis del RAFA mediante el software “PTAR DISEÑO” y el Manual del CONAGUA.

PRUEBA DE WILCOXON PARA EL DISEÑO DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA) SEGÚN EL SOFTWARE IBM SPSS:

Al igual que el anterior análisis, primeramente, planteamos nuestra hipótesis nula y alterna, basadas en las variables de los resultados del proceso de diseño del software “PTAR DISEÑO” y la memoria de cálculo del expediente técnico. Estas hipótesis son las siguientes:

HIPÓTESIS ALTERNA (H_a): El diseño del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) para la “PTAR Laberinto” con el software “PTAR DISEÑO” no varía respecto a la memoria de cálculo del expediente técnico.

HIPÓTESIS NULA (H_0): El diseño del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) para la “PTAR Laberinto” con el software “PTAR DISEÑO” varía respecto a la memoria de cálculo del expediente técnico.

Recordar que la hipótesis alterna puede ser negativa, ya que lo que se quiere demostrar es que no exista una variación significativa del software “PTAR DISEÑO” con la memoria de cálculo.

Estos resultados de acuerdo al software IBM SPSS, se aprecian en la Tabla 52.

La significancia asintótica bilateral muestra el grado de compatibilidad entre el valor poblacional propuesto y la información muestral disponible.

El software IBM SPSS siempre calcula el “P_{VALOR}” para un contraste bilateral o de dos colas, si se desea realizar un contraste unilateral o de una cola hay que dividir entre 2 el contraste bilateral.

Tabla 52
Estadísticos de contraste^a diseño RAFA

	MEM.CÁLCULO_RAFA – PTAR.DISEÑO_RAFA
Z	-1.761 ^b
Sig. asintót. (bilateral)	0.078

a. Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon

b. Basado en los rangos positivos

NOTA: Software IBM SPSS

Interpretación: Podemos observar que el “P_{VALOR}” o significancia asintótica bilateral es 0.078, este valor de acuerdo al ritual estadístico planteado, con un nivel de significancia de ($\alpha = 0.05$) resulta ser $\alpha < 0.078$, por lo que de acuerdo a la interpretación del “P_{VALOR}” (“p” > 0.05) **se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.**

Eso quiere decir que existe una variación mínima en el diseño del proceso del RAFA del software “PTAR DISEÑO” respecto a la memoria de cálculo del expediente técnico para la “PTAR Laberinto”.

PRUEBA DE WILCOXON PARA EL DISEÑO DEL RAFA – MANUAL DEL CONAGUA SEGÚN EL SOFTWARE IBM SPSS:

Al igual que el anterior análisis, primeramente, planteamos nuestra hipótesis nula y alterna, basadas en las variables de los resultados del proceso de diseño del Manual del CONAGUA y la memoria de cálculo del expediente técnico. Estas hipótesis son las siguientes:

HIPÓTESIS ALTERNA (H_a): El diseño del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) para la “PTAR Laberinto” mediante el Manual del CONAGUA no varía respecto a la memoria de cálculo del expediente técnico.

HIPÓTESIS NULA (H_0): El diseño del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) para la “PTAR Laberinto” mediante el Manual del CONAGUA varía respecto a la memoria de cálculo del expediente técnico.

Recordar que la hipótesis alterna puede ser negativa, ya que lo que se quiere demostrar es que no exista una variación significativa del Manual del CONAGUA con la memoria de cálculo.

Estos resultados de acuerdo al software IBM SPSS, se aprecian en la Tabla 53.

Tabla 53
Estadísticos de contraste^a diseño RAFA - Manual CONAGUA

	MEM.CÁLCULO_RAFA – CONAGUA_RAFA
Z	-0.105 ^b
Sig. asintót. (bilateral)	0.092

a. Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon

b. Basado en los rangos positivos

NOTA: Software IBM SPSS

Interpretación: Podemos observar que el “P_{VALOR}” o significancia asintótica bilateral es 0.092, este valor de acuerdo al ritual estadístico planteado, con un nivel de significancia de ($\alpha = 0.05$) resulta ser $\alpha < 0.092$, por lo que de acuerdo a la



interpretación del “ P_{VALOR} ” (“ p ” > 0.05) **se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.**

Eso quiere decir que existe una variación mínima en el diseño del proceso del RAFA del Manual del CONAGUA respecto a la memoria de cálculo del expediente técnico para la “PTAR Laberinto”.

Podemos concluir que, en todos los procesos analizados anteriormente, se tiene una variación mínima en el diseño del software “PTAR DISEÑO” y Manual del CONAGUA comparado con la memoria de cálculo del expediente técnico para la “PTAR Laberinto”.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de resultados de la investigación, se basa en los objetivos de la misma, de los cuales se obtuvieron como resultados, los siguientes:

4.1. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE CONSTRUCCIÓN Y OPERATIVIDAD DE LA “PTAR LABERINTO”

- En este apartado se presentan los resultados y discusión del primer objetivo específico: Evaluar las condiciones actuales de construcción y operatividad de la “PTAR Laberinto”.

Primeramente, se realizó el ensayo microbiológico y químico del agua residual en la matriz de alcantarillado de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto, las muestras de agua fueron analizadas por el laboratorio acreditado por INACAL “LOUIS PASTEUR”, fueron 10 parámetros analizados, según lo indica la Norma OS.090 (Apartado 4.3.2), estos resultados sirvieron como base para analizar y calcular la eficiencia de la “PTAR Laberinto”.

De acuerdo a la Norma OS.090 en el apartado 4.3.13, se menciona: para elegir un proceso de tratamiento, se consideran dos parámetros importantes: la DBO y sólidos totales en suspensión.

Es así que, se obtuvieron los resultados de estos dos parámetros realizados por el laboratorio, que considera la Norma OS.090, los cuales fueron: DBO = 565.54 mg/L y sólidos totales en suspensión = 300 mL/L.

Bajo este concepto, se calcularon los porcentajes de eficiencia de remoción de DBO y sólidos totales en suspensión, los cuales fueron:

- Porcentaje de eficiencia de remoción de DBO = 85 - 90%



- Porcentaje de eficiencia de remoción de sólidos totales en suspensión = 55 – 60%

Estos resultados fueron calculados tomando en cuenta los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de PTAR, establecidos por el MINAM en el DS N° 003-2010-MINAM, que establecen un límite máximo para vertidos de cuerpo de agua de DBO = 100 mg/L y sólidos totales suspendidos de 150 mL/L.

De acuerdo a estos porcentajes de eficiencia de remoción de DBO y sólidos totales suspendidos calculados, se elige un proceso de tratamiento adecuado a lo que indica la Norma OS.090 en su apartado 4.3.13 y que se encuentre dentro del rango de porcentaje de remoción.

Dentro de estos procesos de tratamiento se encuentran tres, que cumplen el rango de porcentaje de eficiencia de remoción de lo que indica la Norma OS.090, los cuales son: Lodos activados, filtros percoladores y zanjas de oxidación.

De estos tres procesos de tratamiento, el proceso que se adapta más, por condiciones de: Área, operación, mantenimiento, uso de energía eléctrica y una buena remoción de materia orgánica soluble es la tecnología de Filtro Percolador.

Se puede resaltar bajo este análisis que, la “PTAR Laberinto”, tiene bajo sus condiciones actuales de construcción y operatividad, un porcentaje de eficiencia de remoción de DBO del 85 - 90% y un porcentaje de eficiencia de remoción de sólidos totales suspendidos de 55 - 60%.

De acuerdo a la Norma OS.090, la tecnología de Filtros Percoladores es la que más se adapta a las condiciones de tratamiento secundario para la localidad de Puerto Rosario – Laberinto.



Seguidamente, se realizó el análisis “Físico-Bacteriológico, Químico y Parasitológico del efluente de la PTAR Laberinto”, de acuerdo a la Categoría 3-D1 [Riego de vegetales (agua para riego no restringido (c) y agua para riego restringido)] del D.S. N°-004-2017-MINAM. Se pudo concluir de acuerdo al ensayo, que los parámetros Físico – Químicos y Microbiológicos-Parasitológicos no exceden en ninguno de sus apartados los límites máximos permisibles impuestos por los estándares de calidad ambiental (ECA) a excepción de los parámetros Inorgánicos de los cuales solo el parámetro de Manganeseo (Mn) excede en 0.5 mg/L el límite máximo permisible, en comparación de los otros apartados de estos parámetros inorgánicos, donde ninguno de ellos excede los límites máximos permisibles.

Se sustenta el uso del Manganeseo, primeramente, porque es el único parámetro inorgánico que excede los límites máximos permisibles y que no afecta directamente en un porcentaje amplio, y esto no trae como consecuencia daños perjudiciales para el riego, porque el Manganeseo mientras aparezca en cantidades excesivas en agua para riego será más perjudicial, mientras si este parámetro aparece en menores cantidades su perjuicio al agua de riego será menor.

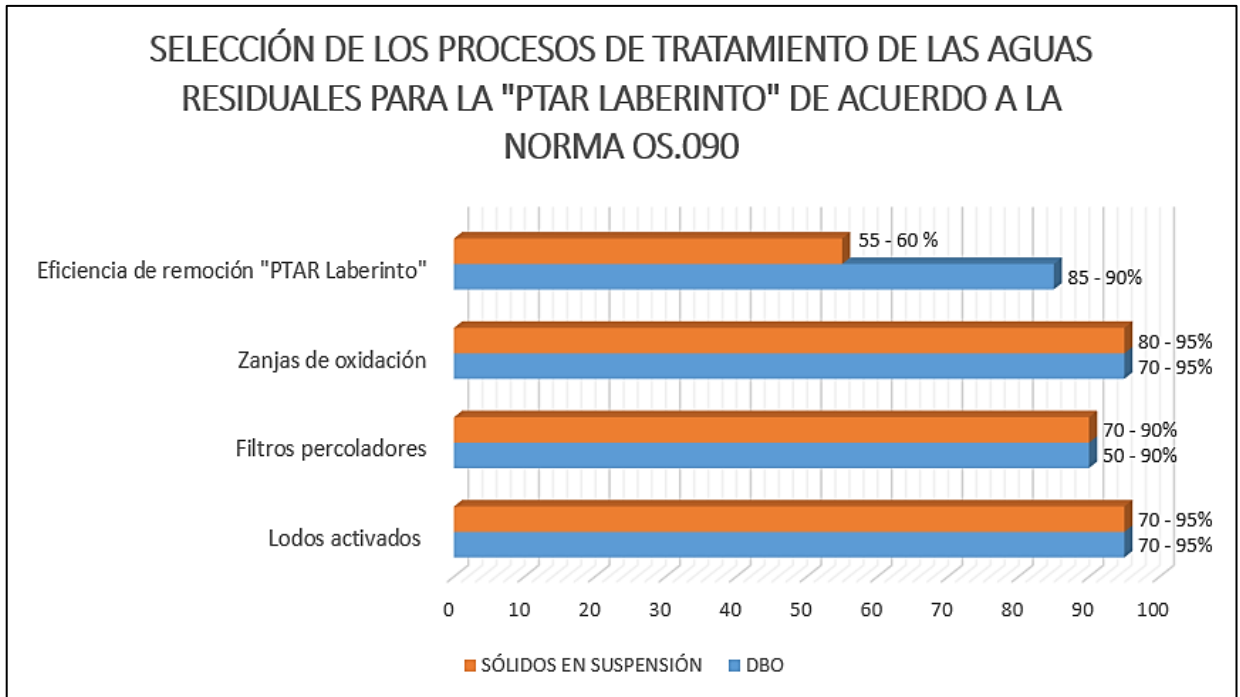
Cabe resaltar que este parámetro en la mayoría de casos tiene un efecto perjudicial cuando los valores de Manganeseo y Hierro están por encima de los límites permisibles, ya que al actuar juntos son muy perjudiciales, situación que no sucede en este caso, pues de acuerdo a los resultados, el hierro está muy por debajo del límite permisible.

Se garantiza, de acuerdo a este análisis, bajo las condiciones actuales de construcción y operatividad, el uso del efluente de la “PTAR Laberinto” para la

categoría 3-D1 [Riego de vegetales (agua para riego no restringido (c) y agua para riego restringido)] del D.S. N°-004-2017-MINAM.

Figura 39

Selección de los procesos de tratamiento de acuerdo a los rangos de eficiencias de remoción de la Norma OS.090



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo



4.2. VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE LA “PTAR LABERINTO” APLICANDO EL SOFTWARE “PTAR DISEÑO”

- En este apartado se presentan los resultados y discusión del segundo objetivo específico: Verificar la eficiencia del software “PTAR DISEÑO”, para evaluar el buen funcionamiento de la “PTAR Laberinto”.

Primeramente, se realizó el diseño de la “PTAR Laberinto” mediante el software “PTAR DISEÑO”, en el cual se diseñó el tratamiento preliminar (cámara de rejillas, desarenador y canal Parshall), así como el tratamiento primario y secundario (RAFA y sus tres tecnologías biológicas complementarias a este, las cuales son: laguna facultativa, filtro percolador y lodos activados modalidad convencional).

Este diseño, se comparó con la memoria de cálculo del expediente técnico, el cual se ejecutó en obra, esta información se encuentra a detalle en el acápite 3.3.3 de la investigación (Análisis de Resultados del Diseño de la “PTAR Laberinto” elaborado por el software “PTAR Diseño”), donde se encuentran los resultados totales, haciendo un análisis de los valores de cada uno de los procesos de tratamiento.

Se pueden analizar y discutir estos resultados en el siguiente acápite:

4.2.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DEL TRATAMIENTO PRELIMINAR

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DEL DISEÑO DE CÁMARA DE REJAS

La variación en dimensiones calculadas por el software no es significativa comparada con el diseño de la memoria de cálculo del expediente técnico (largo de canal, ancho de canal, diámetro, espesor de rejillas, eficiencia, número de barras, etc.), tienen una variación mínima e incluso algunos valores son similares,



por lo cual se recomienda el uso del software para este proceso. Se garantiza el proceso de cribado en este proceso.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DEL DISEÑO DEL DESARENADOR

Al igual que el diseño de la cámara de rejillas, el desarenador tiene variaciones muy mínimas en todos sus parámetros de diseño (longitud del desarenador, ancho del desarenador, altura máxima de lámina de agua en el desarenador, velocidad de flujo, frecuencia de limpieza, área longitudinal del desarenador y estimación de material retenido) por lo que también se recomienda el uso del software para este proceso, garantizando la reducción de velocidad en el flujo de agua con el fin de que las partículas sólidas que se encuentren suspendidas se decanten y depositen en el fondo.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DEL DISEÑO DEL CANAL PARSHALL

En este proceso de tratamiento preliminar, el software también no genera una variación considerable de dimensiones, se entiende que este proceso es fundamental, porque nos proporciona el caudal en el afluente del sistema de la PTAR.

La única variación que podría considerarse un poco considerable, es la del Ancho de Garganta (W), ya que el software trabaja con una Tabla adaptada de: Azevedo Netto et al (1998) citado por Mendoca (2000) p. 185, pero al comparar los coeficientes “ K ” y “ n ”, estos vienen a ser los mismos, lo cual demuestra ser eficiente en cuanto a su uso de medidor de caudal para el afluente de la PTAR.

Si se hace un análisis más profundo en la comparación del diseño de este proceso, se podría decir que, en el parámetro de costos, en la construcción de este proceso, no estaríamos creando una sobrevaloración considerable ya que se

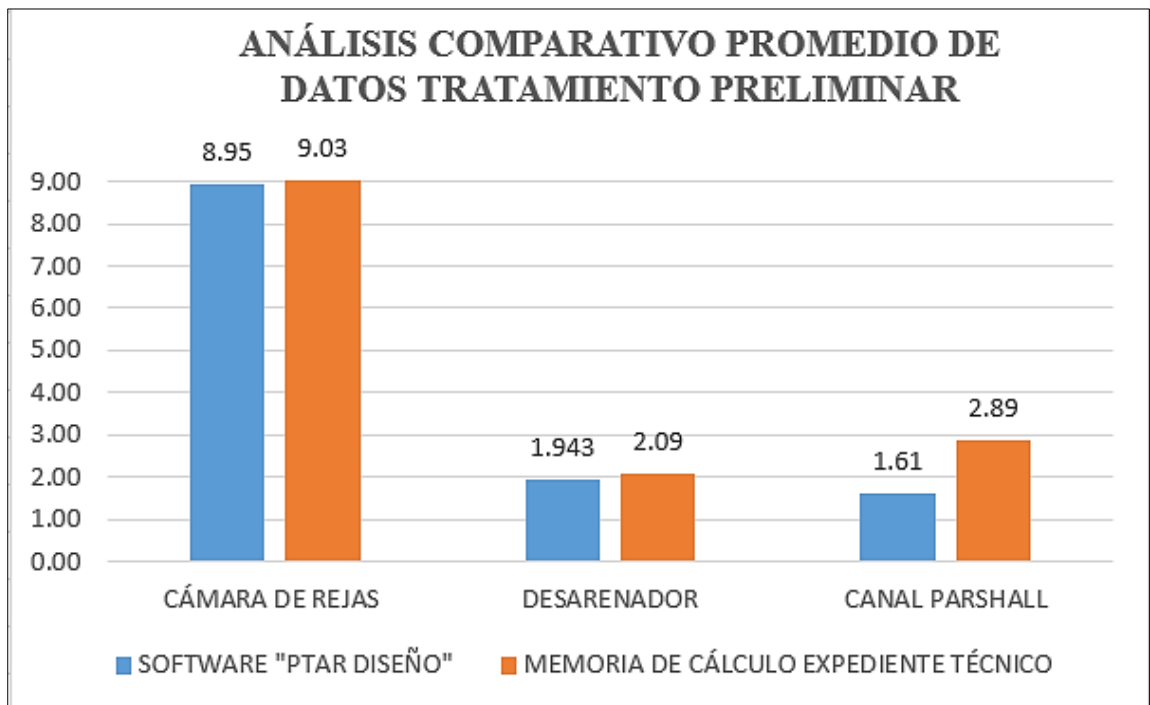
manejan similares dimensiones, todo esto detallado en el Plano de dimensiones de la PTAR y Expediente Técnico.

4.2.2. CONCLUSIÓN GENERAL DEL TRATAMIENTO PRELIMINAR

Todas las dimensiones en los procesos de tratamiento preliminar tienen una variación mínima, garantizando y recomendando el uso del software en todos los procesos, en el parámetro de costos y construcción de estos procesos, no se genera una sobrevaloración.

Figura 40

Análisis comparativo promedio de datos tratamiento preliminar



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

4.2.3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DEL TRATAMIENTO PRIMARIO

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DEL DISEÑO DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE

Este es uno de los procesos más importantes para el desarrollo de la investigación, ya que las otras tres tecnologías que se diseñó para el tratamiento secundario en el software son complementarias al RAFA, las variaciones son poco considerables al igual que en el tratamiento preliminar, en algunos de los cálculos

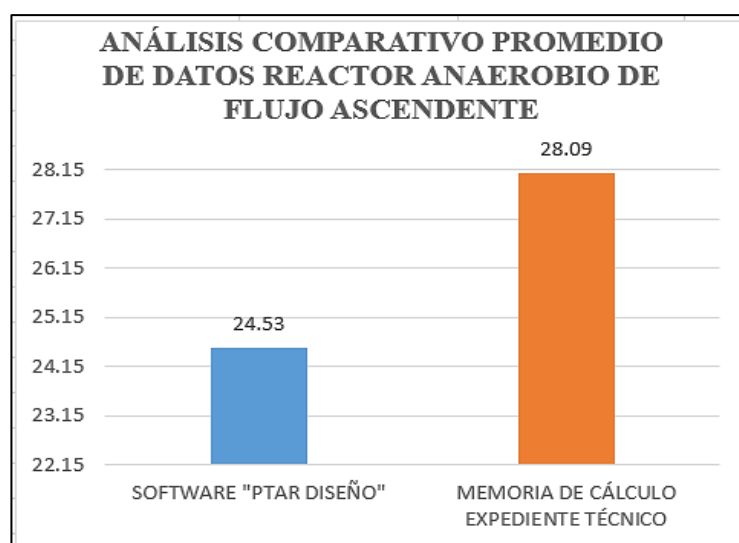
el software considera que se deben realizar con el caudal medio (Q_{med}), situación que no sucede con la memoria de cálculo que se realizó en el expediente técnico, puesto que, para ese cálculo, se trabajaron absolutamente todos los datos con el Caudal Máximo ($Q_{máx}$).

Al igual que los planos estructurales y diseño del RAFA, el software hizo un cálculo de 4 campanas deflectoras para la producción de biogás y metano, eso quiere decir que, el número de tuberías y producción de lodos son aproximados en cuanto al diseño.

De esta manera se garantiza la separación de sólidos, líquidos y gas en este proceso de tratamiento secundario, así como también se recomienda el uso del software en este proceso.

La mayoría de parámetros de la memoria de cálculo del expediente técnico fueron hallados por el software, así como otros parámetros complementarios que fueron calculados más al detalle en el diseño del RAFA, como el sistema de distribución del afluente, producción de metano y estimación de energía generada.

Figura 41
Análisis comparativo promedio de datos del reactor anaerobio de flujo ascendente



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo



4.3. OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA “PTAR LABERINTO” MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS SECUNDARIOS COMPLEMENTARIOS

- En este acápite se presentan los resultados y discusión del tercer objetivo específico: Determinar el tratamiento secundario complementario al RAFA, que optimiza mejor la remoción de carga orgánica soluble de la “PTAR Laberinto”.

Este análisis también se realizó mediante el software “PTAR DISEÑO”, evaluando principalmente, como parámetro más importante, la remoción de carga orgánica soluble, de la cual se encargan los microorganismos para cada uno de estos tratamientos secundarios complementarios al RAFA.

4.3.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE TRATAMIENTOS SECUNDARIOS COMPLEMENTARIOS AL RAFA

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DEL DISEÑO DE LAGUNA FACULTATIVA

Esta es una de las tres tecnologías que se diseñó en el software que son complementarias al RAFA, pertenece al tratamiento secundario de la “PTAR Laberinto” y de todos los parámetros que se calcularon con el software, se considera el más importante la remoción de DBO estimada, este valor tuvo un cálculo de 63.9 % de remoción, y que al hacer la comparación con las otras dos tecnologías complementarias al RAFA (filtro percolador y lecho de secados modalidad convencional), esta fue la que obtuvo el valor más bajo, por lo que no se recomienda el uso de este proceso de tratamiento para la “PTAR Laberinto”, ya que también se considera el sistema más simple y sencillo de tratamiento de aguas residuales, son de una naturaleza muy compleja desde el punto de vista de operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos responsables de su eficiencia. La clave para la operación de lagunas facultativas es la producción de



oxígeno a partir de dos fuentes: por re-aireación superficial y por generación de oxígeno por las algas fotosintéticas.

Se recomienda una profundidad mínima para lagunas facultativas primarias de 1.5 m, y lagunas facultativas secundarias mayores a 1.2 m, en este caso, el software hizo un cálculo de una profundidad de 1.5 m para una laguna facultativa secundaria complementaria al RAFA.

El efluente de lagunas facultativas generalmente es tratado por lagunas de maduración para alcanzar un alto grado de tratamiento, su mayor desventaja es la gran área que ocupan (**Polprasert, 1995**).

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DEL FILTRO PERCOLADOR

Al igual que la laguna facultativa, el filtro percolador es la segunda tecnología complementaria al RAFA diseñada por el software para la “PTAR Laberinto”, en este caso el software hizo un cálculo de remoción de DQO = 66.8 % y DBO = 71.7 % (el cual se considera el parámetro más importante) por lo cual, a comparación de la anterior tecnología, esta presenta un valor mayor y muy considerable para la remoción de DBO, lo cual nos da a entender que es una tecnología muy eficiente y es por ello que se recomienda el uso de este proceso.

Las mayores ventajas en este proceso son: bajo costo, bajo consumo energético, bajo uso de terreno (en comparación a lagunas facultativas), buen desempeño y baja producción de lodos.

Recordar que en este proceso la eficiencia de DBO disminuye al aumentar la carga orgánica volumétrica, para nuestro caso obtuvimos con el software una COV de 0.8 kg DBO/m³*día.



ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LODOS ACTIVADOS MODALIDAD CONVENCIONAL

Esta última tecnología, al igual que las anteriores, es complementaria al RAFA, y al calcular el parámetro el cual se considera más importante para verificar su eficiencia (remoción de DBO), se hizo un cálculo de eficiencia de remoción con el software de DBO = 71.4 %, valor casi similar al del filtro percolador, por lo cual muestra ser eficiente y se recomienda el uso de esta tecnología secundaria para la “PTAR Laberinto”.

La eficiencia de remoción en este proceso puede variar de la siguiente manera: DQO = 70 – 80 %, SST = 80 – 90 %, Patógenos: 80 – 90 %. Recordar que este proceso es aplicable para cualquier tipo de afluente orgánico, así como los compuestos tóxicos afectan el desempeño del tratamiento.

Las condiciones óptimas de operación para esta tecnología están caracterizadas por: “El TRH en el reactor es suficiente para que los microorganismos metabolicen el alimento, el tiempo de retención celular es suficiente para permitir la formación de un lodo saludable, hay suficientes microorganismos (SSLM) en el sistema para remover y metabolizar todo el alimento (DBO) que entra, el lodo presenta una buena sedimentabilidad, es decir, precipita lo suficientemente lento para arrastrar consigo a la mayoría de partículas suspendidas en el agua, los microorganismos en el lodo de recirculación están listos para comer”.

4.3.2. CONCLUSIÓN GENERAL DE TRATAMIENTOS SECUNDARIOS COMPLEMENTARIOS AL RAFA

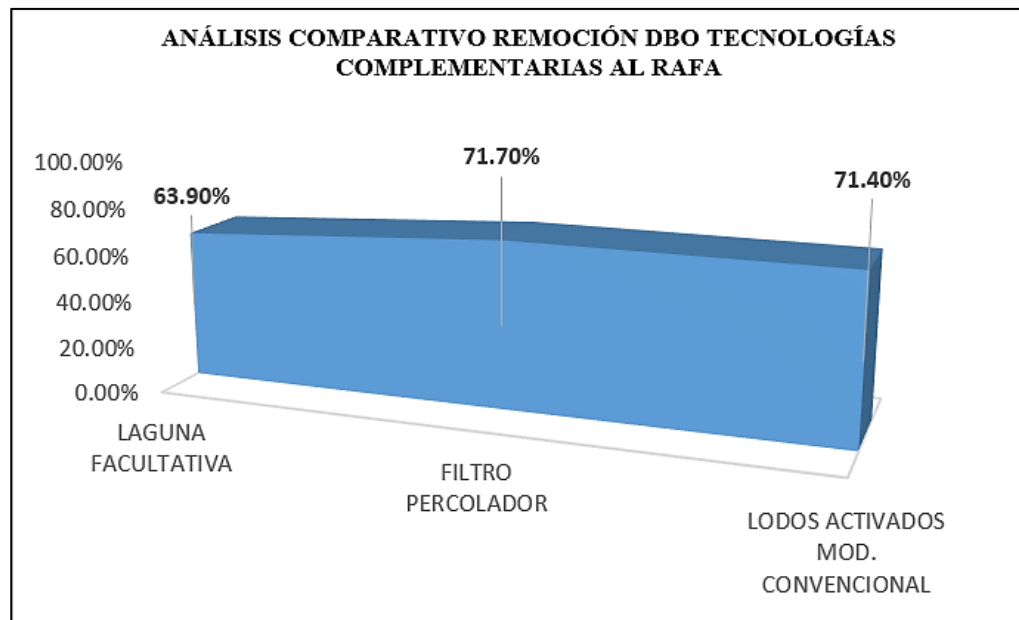
La mayoría de parámetros y dimensiones en el diseño del RAFA, tienen una variación mínima de comparación, garantizando y recomendando el uso del

software en todos los procesos del RAFA, así como el cálculo de 4 campanas deflectoras para la producción de biogás y metano.

En lo que respecta a las tres tecnologías complementarias al RAFA, se recomienda la aplicación del Filtro Percolador y Lodos Activados modalidad convencional por su alta eficiencia en remoción de DBO, situación que no sucede con el valor calculado de remoción para la tecnología de Laguna Facultativa, por lo que no se recomienda su aplicación para la “PTAR Laberinto”.

Figura 42

Análisis comparativo de remoción de DBO para tecnologías complementarias al RAFA



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

4.4. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA POBLACIÓN DE LABERINTO

- En este apartado se presentan los resultados y discusión del cuarto objetivo específico: Determinar en qué condiciones se encuentra actualmente el agua residual doméstica de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto.

Para cumplir con este objetivo, se realizó el muestreo del agua residual en la matriz de alcantarillado de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto, que desemboca sus aguas al río Madre de Dios.



Se considera el agua residual de la matriz de alcantarillado, como afluente de la “PTAR Laberinto”, ya que esta agua residual es la misma que entraría como afluente al tratamiento preliminar en la “PTAR Laberinto”.

El análisis de ensayos microbiológicos y químicos del agua residual para la localidad de Puerto Rosario – Laberinto, los realizó el laboratorio “LOUIS PASTEUR”, acreditado por INACAL con registro N° LE-042.

El muestreo se realizó por parte del investigador, de acuerdo al instructivo para toma de muestras de agua residual enviado por el laboratorio.

Los parámetros a analizar fueron solicitados de acuerdo a la Norma OS.090 del RNE (Apartado 4.3.2), los cuales son: Coliformes fecales, Numeración de huevos y larvas de helmintos, DBO₅, DQO, sólidos totales en suspensión, sólidos totales disueltos, sólidos sedimentables, sólidos totales, sólidos fijos y sólidos volátiles.

Los resultados de estos parámetros fueron de mucha importancia para evaluar la eficiencia de remoción de carga orgánica soluble de la “PTAR LABERINTO” y escoger el mejor proceso de tratamiento secundario que más se adapte a las características de la “PTAR Laberinto” de acuerdo también a la Norma OS.090.

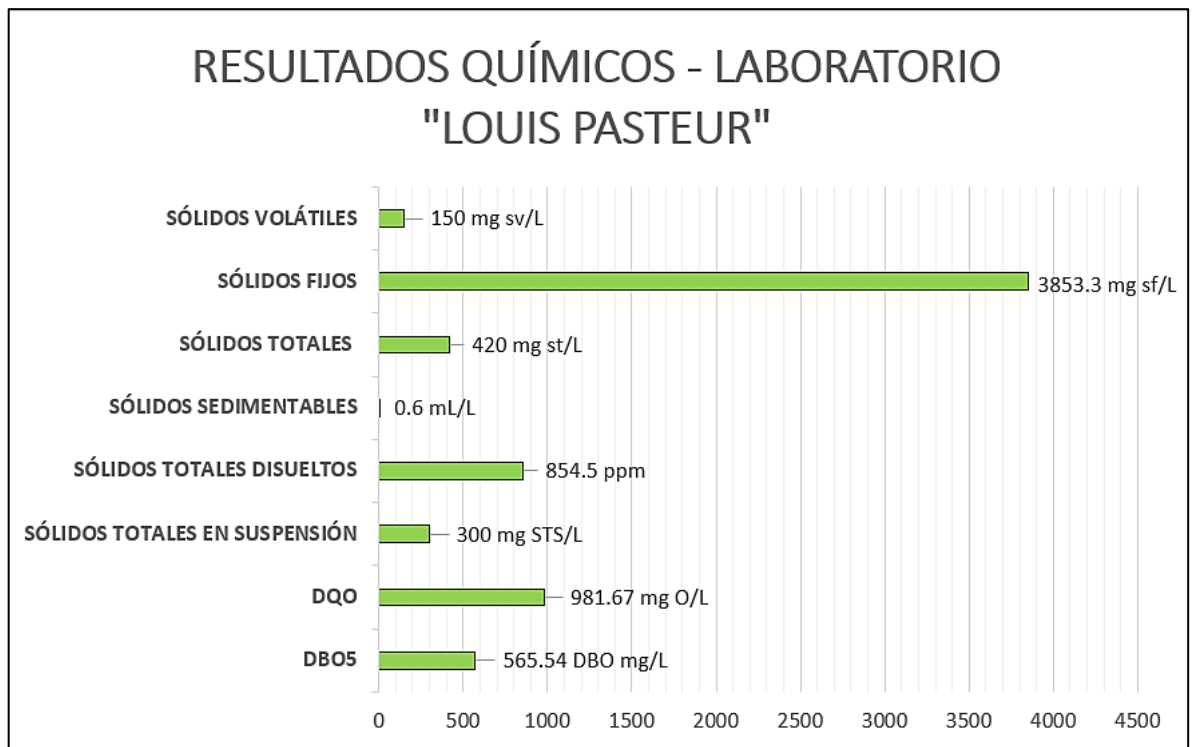
Se puede concluir bajo esta perspectiva que, el agua residual de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto, presenta una alta carga orgánica soluble con una DBO₅ de 565.54 mg/L y un total de sólidos totales en suspensión de 300 mL/L.

De acuerdo a estos resultados, el proceso de tratamiento que mejor se adapta a las condiciones actuales de la “PTAR Laberinto”, es un tratamiento secundario de filtros percoladores.

Los resultados de los parámetros analizados por el laboratorio tienen un alto grado de confiabilidad, ya que el laboratorio se encuentra acreditado por INACAL, estos resultados también fueron enviados como base de información a la Municipalidad Distrital de Laberinto para futuros proyectos a realizarse y planes de estudio en la zona.

Figura 43

Resultados químicos de los parámetros para caracterización de agua residual de la Norma OS.090



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

4.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DIMENSIONAMIENTO DE LA “PTAR LABERINTO” MEDIANTE EL SOFTWARE IBM SPSS

- La metodología estadística se basó en comparar dos grupos, los cuales fueron: Los valores del dimensionamiento de los procesos de tratamiento de la memoria de cálculo del expediente técnico con los resultados del software “PTAR DISEÑO” y Manual del CONAGUA respectivamente.

Este análisis comparativo se desarrolló mediante el software IBM SPSS, se hizo una elección de prueba estadística para una variable cuantitativa

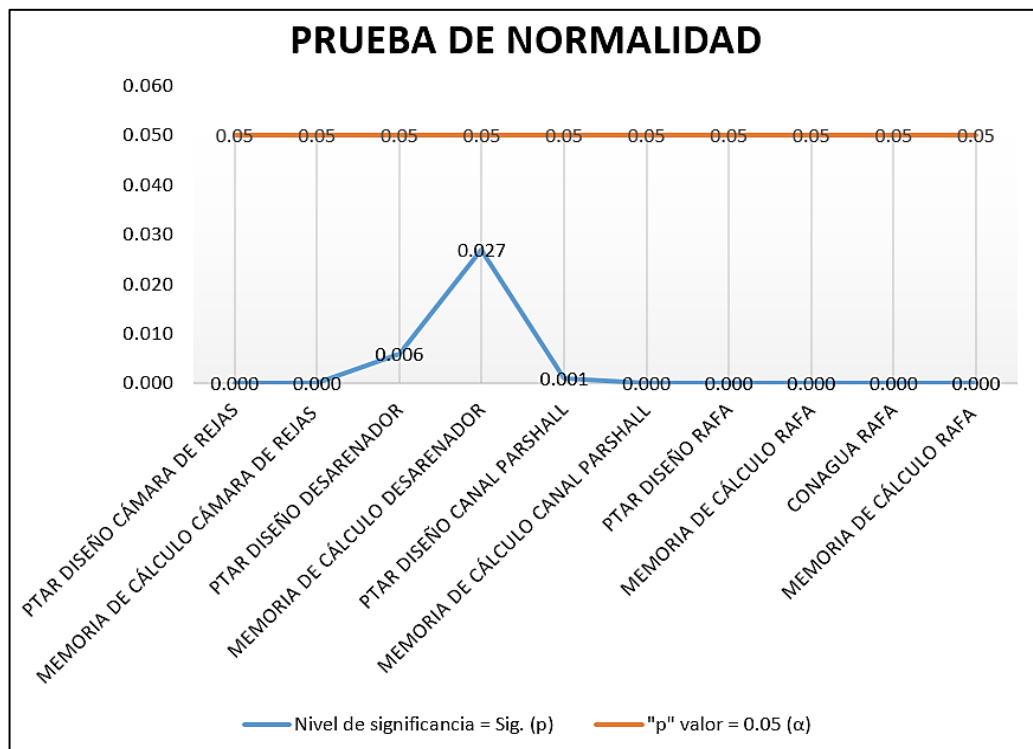
dicotómica, de una muestra relacionada con una distribución no paramétrica (de acuerdo a la prueba de normalidad) por lo cual se usó la prueba de Wilcoxon en el diseño del software “PTAR DISEÑO” y Manual del CONAGUA.

Se compararon los valores de las dimensiones halladas para el tratamiento preliminar por el software “PTAR DISEÑO”: Cámara de rejas, desarenador y canal Parshall, así como para el tratamiento primario, también realizado por el software “PTAR DISEÑO” y Manual del CONAGUA: Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA). Primeramente, se desarrolló la prueba de normalidad para cada uno de estos procesos de tratamiento, resultando que, todas estas pruebas tuvieron una distribución de datos no normal, y por la tanto, las hipótesis se realizaron por las pruebas NO PARAMÉTRICAS, debido a que los niveles de significancia resultaron ser menores al “p” valor el cual fue de 0.05 (α).

Estos resultados se muestran a detalle en la Figura 44.

Figura 44

Resultados de prueba de normalidad para los procesos de tratamiento de la “PTAR Laberinto” realizados por el software IBM SPSS



NOTA: Software IBM SPSS

Seguidamente, se realizó la prueba de Wilcoxon para pruebas NO PARAMÉTRICAS, debido a que, todos los datos fueron menores a 50, planteando la Hipótesis Nula (H_0) e Hipótesis Alterna (H_a) para cada proceso de tratamiento.

Un ejemplo de estas hipótesis son las siguientes:

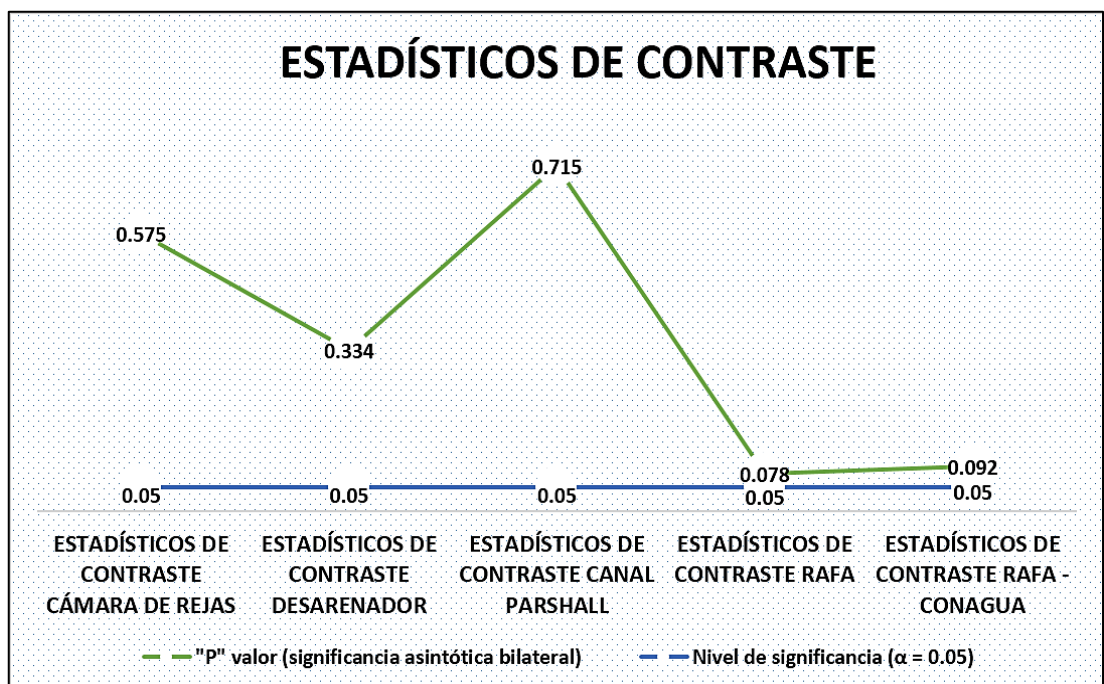
- 1) El diseño de cámara de rejás para la “PTAR Laberinto” con el software “PTAR DISEÑO” **NO VARÍA** respecto a la memoria de cálculo del expediente técnico (H_a = Hipótesis alterna).
- 2) El diseño de cámara de rejás para la “PTAR Laberinto” con el software “PTAR DISEÑO” **VARÍA** respecto a la memoria de cálculo del expediente técnico (H_0 = Hipótesis nula).

Finalmente, se hallaron los estadísticos de contraste por el software IBM SPSS para calcular el “P_{VALOR}” o significancia asintótica bilateral, con estos resultados se aceptará o rechazará la hipótesis nula o alterna.

Estos resultados se muestran a detalle en la Figura 45.

Figura 45

Resultados de estadísticos de contraste para los procesos de tratamiento de la “PTAR Laberinto” realizados por el software IBM SPSS



NOTA: Software IBM SPSS

Como se puede apreciar en la Figura 45, para todos los casos, el “P” valor o significancia asintótica bilateral es mayor al nivel de significancia ($\alpha = 0.05$), por lo que, de acuerdo al ritual estadístico, se aceptaron todas las hipótesis nulas y se rechazaron las alternas.

Se concluye que, para cada valor, existe una variación mínima en el proceso de diseño de tratamiento preliminar, primario y secundario realizado por el software “PTAR DISEÑO” y Manual del CONAGUA.

Con este análisis, se podría indicar que, el software “PTAR DISEÑO” es eficiente para el diseño de tratamiento preliminar, primario y secundario de la “PTAR Laberinto”, pero como en la mayoría de softwares, se puede deducir que se realizaron cálculos correctos, pero no nos garantiza que se obtienen resultados válidos en una totalidad, ya que siempre se tiene que hacer una verificación de otros factores que complementan al proyecto (en este caso una PTAR), como la sostenibilidad técnica-económica antes de elegir un proceso de tratamiento, financiamiento (especialmente en zonas rurales), mantenimiento, uso de normativas locales (en este caso la Norma OS.090), aportes per-cápita, remoción de materia orgánica, etc.

Las ventajas para el proceso de diseño en el software “PTAR DISEÑO” son: Velocidad (se obtienen resultados rápidamente), gráficos (se pueden reproducir representaciones de los resultados que permiten una mejor visualización), flexibilidad (una vez que se ha construido la base de datos, se pueden realizar pequeños cambios y repetir el análisis), etc.

Una de las desventajas en este caso sería la dependencia de la calidad del archivo de datos, si los datos están mal registrados o tienen inconsistencias y el investigador no lo advierte, los resultados serán incorrectos.

V. CONCLUSIONES

CONCLUSIÓN GENERAL

- La optimización de la “PTAR Laberinto” mediante un tratamiento secundario de filtros percoladores resultó ser eficiente, esto debido, primeramente, al análisis realizado de la “PTAR Laberinto” mediante el software “PTAR DISEÑO”, concluyendo que, el tratamiento secundario más eficiente, que se complementa al RAFA (tratamiento primario), es la tecnología de filtros percoladores debido a su alta remoción de materia orgánica soluble (en comparación a otros procesos de tratamiento secundario), esta remoción fue de 71.7%. Se llega a la misma conclusión, debido al análisis microbiológico y químico del afluente de la “PTAR Laberinto”, realizado por el laboratorio “LOUIS PASTEUR”, este análisis sirvió de base para calcular la eficiencia de remoción de materia orgánica soluble de la “PTAR Laberinto” conforme a la Norma OS.090, concluyendo que, el proceso de tratamiento que más se adapta, de acuerdo al porcentaje de remoción de DBO y sólidos totales en suspensión, es también el de filtros percoladores.

Con estos parámetros, se optimizó la “PTAR Laberinto” con un filtro percolador.

CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

- Se evaluó la operatividad de la “PTAR Laberinto” de acuerdo al porcentaje de eficiencia de remoción de carga orgánica soluble (reducción de la materia orgánica mediante la digestión de la misma por microorganismos), porque el objeto principal de una PTAR, es la remoción de DBO y sólidos suspendidos. Para la “PTAR Laberinto”, se determinó un porcentaje de remoción de materia orgánica soluble de DBO = 85- 90% y de sólidos totales en suspensión de 55 – 60%. Estos parámetros fueron determinantes para elegir un proceso de tratamiento secundario que más se adapte a las características de la “PTAR Laberinto”.



Concluyendo que, de acuerdo a los valores de la Norma OS.090, la tecnología más apta como tratamiento secundario es la de filtros percoladores.

Se evaluaron las condiciones de construcción, de acuerdo a la eficiencia de todos los procesos que trabajan en la “PTAR Laberinto”, por ello, se hizo una caracterización del efluente final de la misma para analizar la eficiencia de construcción general de la “PTAR Laberinto”, y si esta, es apta para la Categoría 3-D1 “riego restringido y no restringido” de acuerdo a los ECA del MINAM. Bajo esta caracterización, se concluye que, la “PTAR Laberinto”, de acuerdo a los estándares de calidad ambiental (ECA) del D.S. N° 004-2017-MINAM, garantiza el uso de su efluente de la para la categoría 3-D1. Bajo este análisis, se puede concluir que, las condiciones actuales de construcción de la “PTAR Laberinto”, son eficientes porque garantizan el reúso de su efluente a un cuerpo receptor, lo cual, generalmente, no se da en muchas de las PTAR a nivel nacional.

- Al verificar el diseño de la “PTAR Laberinto”, mediante el software “PTAR DISEÑO”, se concluye que, no se presentaron variaciones significativas en lo que respecta al dimensionamiento realizado por el software y al dimensionamiento ejecutado en el proyecto para la “PTAR Laberinto”, por lo que el software, resultó ser eficiente, esto da a entender que se podría garantizar el uso de este software, para futuros proyectos similares con poblaciones menores a 200,000 habitantes, siempre y cuando se adapten algunos parámetros a la normativa peruana del Reglamento Nacional de Edificaciones, como se hizo en este caso. El dimensionamiento ejecutado en obra, que es similar al realizado por el software, garantiza una buena remoción de materia orgánica soluble, que es el parámetro más importante para analizar la eficiencia de una PTAR.

Bajo estos parámetros se pudo verificar y evaluar la eficiencia del software.



- Al realizar el diseño de tres tecnologías complementarias al RAFA por el software “PTAR DISEÑO” (laguna facultativa, filtro percolador y lodos activados modalidad convencional), las cuales no se encuentran dentro del diseño de la “PTAR Laberinto”, se concluye que, las tecnologías de filtro percolador y lodos activados modalidad convencional, resultan ser eficientes si se complementan al RAFA, en vista de que, según el software, tienen una remoción de carga orgánica (DBO) de 71.7 % y 71.4 % respectivamente, lo cual no sucede con la tecnología de laguna facultativa, ya que solo presenta una remoción de carga orgánica de 63.9 % (menos eficiente).

Con este análisis se evaluaron los tratamientos secundarios complementarios al RAFA y se eligió al tratamiento con mayor porcentaje de remoción de carga orgánica soluble, que en este caso fue el de filtro percolador.

- Se verificaron las condiciones actuales del agua residual doméstica de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto, de acuerdo al análisis de caracterización del agua residual realizado por el laboratorio, donde se determinaron 10 parámetros de acuerdo a la Norma OS.090 del RNE, se concluye que, de acuerdo al parámetro más importante (DBO), se tiene una concentración alta de carga orgánica igual a 565.54 mg/L (DBO), se podría analizar este resultado debido al incremento poblacional en los últimos años, por lo que, aumentó el número de viviendas y lugares de recreación en la localidad.

Lo mismo sucede con los parámetros de DQO y sólidos suspendidos totales, que tienen un valor de 981.67 mg/L y 300 mL/L respectivamente, que presentan una concentración alta de contaminantes, este análisis se realiza de acuerdo a la composición típica del desagüe doméstico crudo.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de filtros percoladores como tratamiento secundario de la “PTAR Laberinto”, ya que es el único tratamiento secundario que se adapta a las condiciones y características de la misma, garantizando una eficiente remoción de carga orgánica soluble.
- Al realizar el ensayo microbiológico y químico en la matriz de alcantarillado de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto, se obtuvieron resultados confiables, consistentes y válidos por el laboratorio “LOUIS PASTEUR”, ya que este es un laboratorio acreditado por INACAL con registro N° LE-042, recomendando los servicios de este para muestreos de agua residual similares.
- Se recomienda cumplir estrictamente con el instructivo para tomas de muestras de agua residual y todas recomendaciones que se proporcionan por parte del laboratorio, a fin de no tener una significativa variación de resultados que afecten su credibilidad.
- Se recomienda el uso del software “PTAR DISEÑO” de la Universidad de Santiago de Cali para el pre-dimensionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales de la “PTAR Laberinto” en sus procesos de tratamiento preliminar (cámara de rejas, desarenador, canal Parshall) y primario (RAFA), siempre y cuando se adapten algunos parámetros a la normativa peruana del RNE.
- De acuerdo al software “PTAR DISEÑO”, para la “PTAR Laberinto”, se recomienda el uso de dos tecnologías complementarias al RAFA: Filtro Percolador y Lodos Activados Mod. Convencional, debido a sus altos porcentajes de remoción de carga orgánica (DBO), los cuales son: 71.7 % y 71.4 % respectivamente.



- Se recomienda, de acuerdo al software “PTAR DISEÑO”, únicamente para la “PTAR Laberinto” el uso de la tecnología de filtro percolador, debido a que, el proceso de lodos activados modalidad convencional tiene un alto costo de diseño, construcción, operación y mantenimiento. También son sensibles a cambios de carga bruscos y necesitan bastante energía para operación.
- De acuerdo a los resultados del ensayo físico, bacteriológico, químico y parasitológico del efluente de la "PTAR Laberinto" realizado por la DIRESA Puerto Maldonado, de acuerdo al D.S. N°-004-2017-MINAM, se recomienda el uso del efluente para la Categoría 3-D1 [Riego de vegetales (agua para riego no restringido (c) y agua para riego restringido)].
- Se recomienda realizar mayores investigaciones sobre este tema, en vista de que, al día de hoy en el Perú, y más aún, en nuestra región Puno, no contamos con una amplia información vigente, novedosa y avanzada en lo que respecta al diseño de los reactores UASB y procesos de tratamiento de aguas residuales.
- A las entidades públicas y privadas responsables del cuidado y preservación del medio ambiente, se recomienda aprovechar el uso eficiente de los efluentes de las PTAR, de acuerdo a los Límites Máximos Permisibles (LMP) y Estándares de Calidad Ambiental (ECA).
- Finalmente, se recomienda realizar propuestas para mejorar la operación y mantenimiento de las PTAR, con un buen costo de acuerdo al tipo de tecnología, costos de renovación o reinversión de equipos e infraestructura, fomentar la creación de empresas de mantenimiento de la PTAR, capacitar frecuentemente al personal operativo en la teoría del tratamiento de aguas residuales (parámetros, procesos, tecnologías), seguridad del trabajo y remunerar al personal operativo de las PTAR dignamente.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allende Limo, G. A., & Mendoza Zuloeta, A. A. (2019). Proyecto de un diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas del distrito de Lambayeque con el uso de un reactor UASB.
- Augustos de Lemos Chernicharo, C. (2007). Anaerobic Reactors.
- Avila Calderón, S. L. (2016). Caracterización físico-química del efluente final de uso agrícola de la Planta de Tratamiento El Cortijo, Trujillo, Perú.
- CEPIS, C. D. (2005). Tratamiento de agua para el consumo humano. *Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada, Plantas de Filtración Rápida. Lima, Perú.*
- Chávez-Ortiz, J., Rascón, J., & Puicon, A. E. (2017). Evaluación del impacto del vertimiento de aguas residuales en la calidad del río Ventilla, Amazonas. *INDES Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable*, 3(1), 99-107.
- Chernicharo, C. D. L. (2007). Principios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios. *Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais*, 5, 379.
- Chuchón Martínez, S. A., & Aybar Escobar, C. A. (2008). Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la planta de tratamiento de aguas residuales" La Totorá", Ayacucho, Perú. *Ecología aplicada*, 7(1-2), 165-171.
- Eddy, M. (1998). Ingeniería de aguas residuales. *Tratamiento, vertido y reutilización.*
- Fernández Collado, C., Baptista Lucio, P., & Hernández Sampieri, R. (2014). Metodología de la Investigación. *Editorial McGraw Hill.*



- Flores-Ruiz, E., Miranda-Navales, M. G., & Villasís-Keever, M. Á. (2017). El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada. *Estadística inferencial. Revista Alergia México*, 64(3), 364-370.
- Frey, F. (2017). SPSS (Software). *The International Encyclopedia of Communication Research Methods*, 1-2.
- Gascón Cervantes, M. (2007). *Condicionantes medioambientales, sociales y económicos de la reutilización y reciclado de residuos* (Doctoral dissertation, Caminos).
- Gujer, W., & Zehnder, A. J. (1983). Conversion processes in anaerobic digestion. *Water science and technology*, 15(8-9), 127-167.
- Henze, M., Harremoës, P., Jansen, J.L.C., Arvin, E. (2002). *Wastewater treatment. Biological and chemical processes*. 3° ed. Germany.
- INEI, I. (2007). Censos nacionales 2007: XI de población y VI de vivienda.
- Jagannath, M. S., D'Souza, P. E., & Rahman, S. A. (1986). Destruction of eggs of helminth parasites of cattle in biogas plants. *Current Research, University of Agricultural Sciences, Bangalore*, 15(7-8), 76-77.
- Jordão, E. & C.Pessôa, (2011). *Tratamento de Esgotos Domésticos*. Sexta edición – ISBN-978 5-7022-169-8. Brasil, Río de Janeiro.
- Loose, D., Vergara, A., Jugo, M., Miyashiro, M., Guzmán, W. B., Palacio, M., ... & del Sector Agua, F. (2015). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento*. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS).
- Macías Ospina, A. L. (2020). Análisis del arranque, estabilización y operación de una PTAR, evaluando el diseño de los múltiples de distribución del agua residual.



- Manotupa Dueñas, L. F., & Muriel Ortiz, J. G. (2018). Propuesta elaboración de una guía para el proceso de diseño en proyectos de plantas de tratamiento de aguas residuales en el Perú.
- Mara, D., (2003). *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. London, England: Earthscan.
- Méndez Vega, J. P., & Marchán Peña, J. (2008). Estudio: Diagnóstico situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución.
- Mendonça, S. (2000). *Sistemas de lagunas de estabilización. Cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de riego* ISBN: 958-41-0090-0. Colombia, Bogotá.
- Meoño, F. L., Taranco, C. G., & Olivares, Y. M. (2016). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y hacer*, 2(2), 8-25.
- Metcalf & Eddy (2003). *Wastewater Engineering. Treatment and reuse*. 4th edition. McGraw-Hill.
- MINAM, P. (2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS (2015). Resolución 0631 de 2015, por la cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. República de Colombia. Bogotá.
- Prada Guadalupe, A. (2005). Evaluación, Mejoramiento y Optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Soritor, Moyobamba - Perú.



- Van Lier, J. B., Mahmoud, N., & Zeeman, G. (2008). Anaerobic wastewater treatment. *Biological wastewater treatment: principles, modelling and design*, 415-456.
- Von Sperling Marcos (1996). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. En: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. Volumen 1. 2ª ed. Revisada. Universidade Federal de Minas Gerais. Brasil.
- Von Sperling, M., van Haandel, A. C., Jordão, E. P., CAMPOS, J. R., CYBIS, L. F., Aisse, M. M., & Sobrinho, P. A. (2001). Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por lodos ativados. *Rio de Janeiro*.
- Yee-Batista, C. R. (2013). *Panama-PA Water Supply and Sanitation in Low-Income Communities: P082419-Implementation Status Results Report: Sequence 13* (No. ISR11855, pp. 1-1). The World Bank.



ANEXOS

ANEXO 01: Panel fotográfico “PTAR Laberinto”.

ANEXO 02: Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento utilizado para el diseño del RAFA de la “PTAR laberinto”.

ANEXO 03: Procedimiento de llenado, sellado y preservación de muestras para ensayos microbiológicos y químicos laboratorio “LOUIS PASTEUR”.

ANEXO 04: Proceso de selección para la prueba de Wilcoxon en el software IBM SPSS.

ANEXO 05: Matriz de consistencia.

ANEXO 06: Matriz de operacionalización de variables.

ANEXO 07: Evaluación de las condiciones actuales de construcción y operatividad de la “PTAR Laberinto”.

ANEXO 08: Componentes de la “PTAR Laberinto” y eficiencias de remoción de los parámetros más importantes.

ANEXO 09: Valores de los parámetros caracterizados en las muestras analizadas.

ANEXO 10: Diagrama de flujo de los componentes y parámetros más importantes de la “PTAR laberinto” (actual y optimizado).

ANEXO 11: Diagrama de flujo de la optimización del tratamiento secundario y porcentajes de remoción de materia orgánica.

ANEXO 12: Resultados del ensayo microbiológico y químico del agua residual de la matriz de alcantarillado realizado por el laboratorio.

ANEXO 13: Cadena de custodia del muestreo del agua residual de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto entregado por el laboratorio.

ANEXO 14: Instructivo para toma de muestras de agua residual entregado por el laboratorio.



ANEXO 15: Cotización de los ensayos químico y microbiológico solicitado al laboratorio.

ANEXO 16: Resultados del ensayo físico-bacteriológico DIRESA Puerto Maldonado

ANEXO 01: PANEL FOTOGRÁFICO “PTAR LABERINTO”



*ANEXO 1.1: Entrada de acceso a la “PTAR Laberinto” para su respectivo análisis de diseño
NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo*



*ANEXO 1.2: Línea de impulsión “PTAR Laberinto”
NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo*



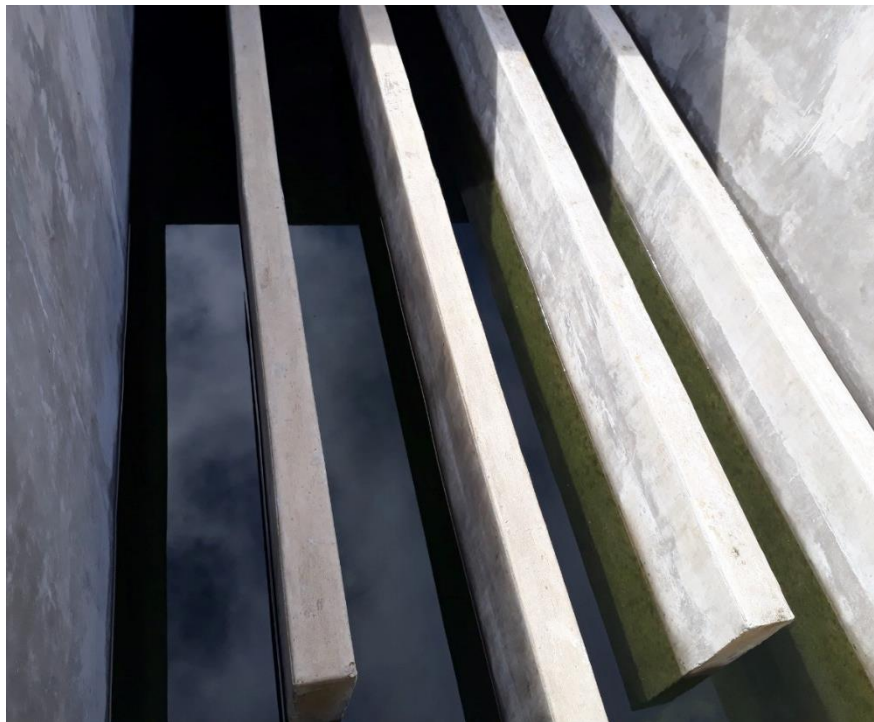
*ANEXO 1.3: Desarenador “PTAR Laberinto”
NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo*



*ANEXO 1.4: Canal Parshall “PTAR Laberinto”
NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo*



*ANEXO 1.5: Lecho de secados “PTAR Laberinto”
NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo*



*ANEXO 1.6: Cámara de contacto de cloro “PTAR Laberinto”
NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo*

ANEXO 02: MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO UTILIZADO PARA EL DISEÑO DEL RAFA DE LA “PTAR LABERINTO”



NOTA: Comisión Nacional del Agua (CONAGUA – México)

ANEXO 03: PROCEDIMIENTO DE LLENADO, SELLADO Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS PARA ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS Y QUÍMICOS LABORATORIO “LOUIS PASTEUR”



ANEXO 3.1: Recepción de materiales en la ciudad de Puerto Maldonado enviados por el laboratorio “LOUIS PASTEUR”

NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Se hace referencia que, dentro del cooler se encontraron los geles refrigerantes con los cuales también fueron enviados los frascos una vez realizado el muestreo de agua residual, ya que es recomendable enviar las muestras a una temperatura promedio y no alterar los componentes ni resultados de la misma. Estos geles refrigerantes fueron previamente congelados nuevamente para el envío de muestras.



*ANEXO 3.2: Ubicación del cooler con el material del lugar de muestreo
NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo*

Para este caso, el lugar del punto de muestreo fue la matriz de alcantarillado de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto, que desemboca sus aguas grises al río Madre de Dios.



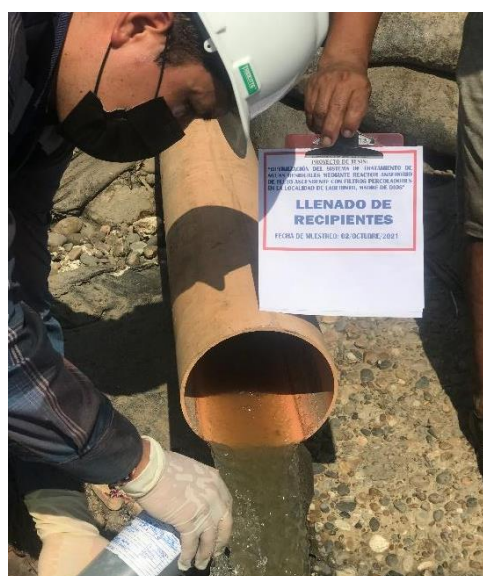
*ANEXO 3.3: Rotulación de frascos con la información de la muestra en la etiqueta
NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo*

Se procedió al rotulado de frascos con la información de la muestra en la etiqueta para el muestreo de ensayos microbiológicos y químicos.

ETIQUETA DE MUESTRAS	
LABORATORIO LOUIS PASTEUR Urb. Velasco Astete D-18B Wanchaq	N° Numero Envases
CLIENTE: Carlos Ramirez Neira	
Nombre del punto de muestreo: salida matriz alcantarilla	
ANALISIS: ST, ST, ST	
FECHA Y HORA: 02/10/2021 02:42 p.m.	CONSERVACION MUESTRA
	Sin Conservante
	H ₂ SO ₄ (C)
	H ₂ SO ₄ (1:1)
	Otros:
REGISTRADO POR: Carlos Ramirez Neira	
Ubicación de la muestra (Llenado en el laboratorio):	
Observaciones:	
LLP-IMP-04 AGOSTO 2021	

ANEXO 3.4: Ejemplo de rotulado de frasco con la información de la muestra en la etiqueta
NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

Dentro de la información en la etiqueta de muestras, se encuentra el nombre del cliente (en este caso el investigador), el nombre del análisis, la persona que realiza el muestreo, la fecha y hora. El Anexo 3.5 corresponde al análisis de sólidos totales, sólidos totales en suspensión y disueltos. Así como se rotuló este frasco para el análisis mencionado, se rotularon todos los demás frascos con la información correspondiente.



ANEXO 3.5: Llenado de recipientes para ensayos microbiológicos y químicos
NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

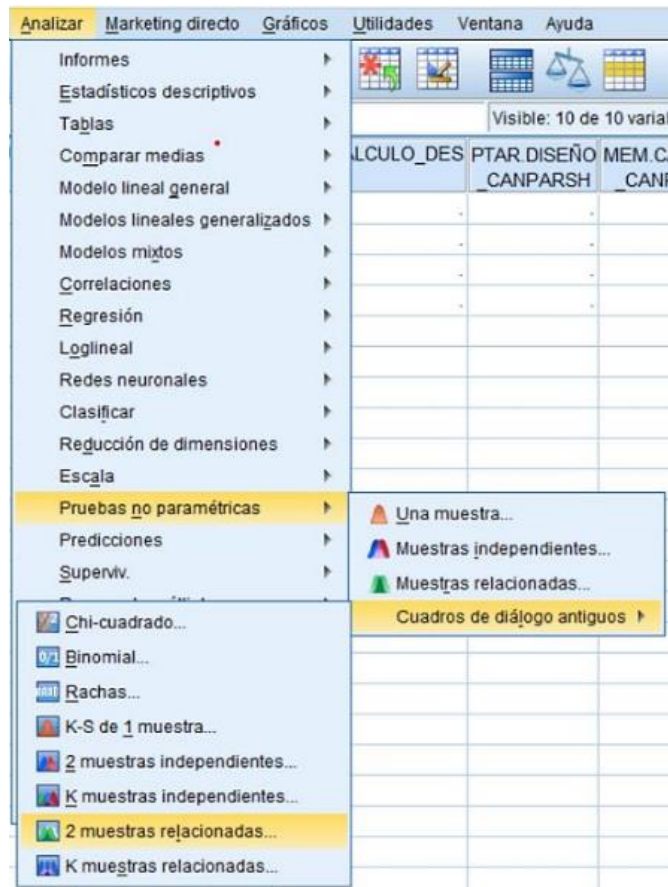


*ANEXO 3.6: Sellado de recipientes para ensayos microbiológicos y químicos
NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo*

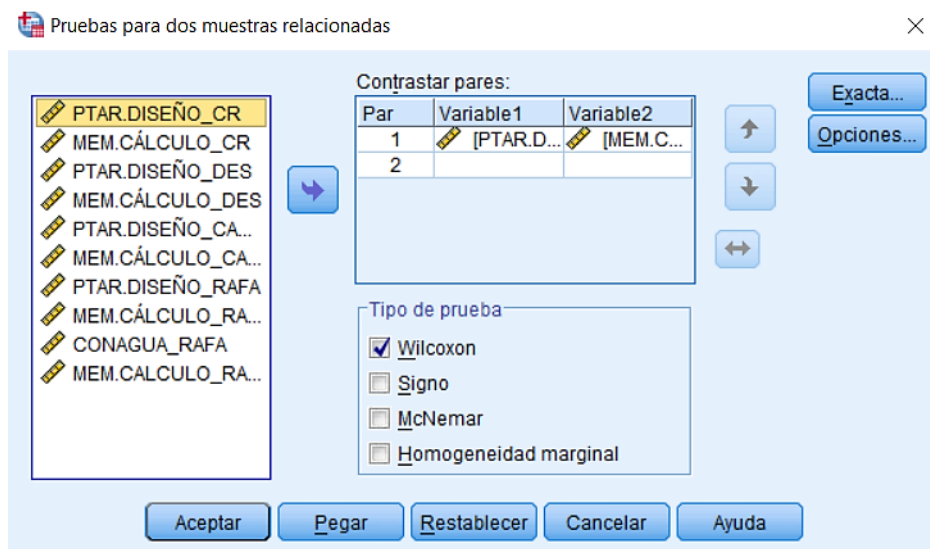


*ANEXO 3.7: Preservación de muestras para ensayos microbiológicos y químicos
NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo*

ANEXO 04: PROCESO DE SELECCIÓN PARA LA PRUEBA DE WILCOXON EN EL SOFTWARE IBM SPSS



ANEXO 4.1: Proceso de selección de la prueba de Wilcoxon en el software IBM SPSS
NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo



ANEXO 4.2: Variables a analizar para la prueba de Wilcoxon en el software IBM SPSS
NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

ANEXO 05: MATRIZ DE CONSISTENCIA

ANEXO 05.1: MATRIZ DE CONSISTENCIA OBJETIVO GENERAL

Objetivo	Definición del problema	Hipótesis	Variables	Indicadores	Factor a medir
Optimizar la “PTAR Laberinto”, complementando el tratamiento primario (RAFA), con un tratamiento secundario de filtro percolador, en la localidad de Puerto Rosario – Laberinto para el año 2021.	¿Cómo se optimiza la “PTAR Laberinto”, complementando el tratamiento primario (RAFA), con un tratamiento secundario de filtro percolador, en la localidad de Puerto Rosario – Laberinto?	El sistema de tratamiento de aguas residuales por reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) en la localidad de Laberinto – Madre de Dios, se optimiza eficientemente con un tratamiento complementario de filtro percolador.	DE CALIBRACIÓN: Filtro percolador EVALUATIVA: Optimización del tratamiento secundario de la “PTAR Laberinto”.	Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) Remoción de materia orgánica (DQO y DBO) Procesos de tratamiento secundarios de aguas residuales Filtro percolador	Porcentaje de remoción de materia orgánica. Influencia de la remoción de materia orgánica para la “PTAR Laberinto”.

NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

ANEXO 05.2: MATRIZ DE CONSISTENCIA OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo	Definición del problema	Hipótesis	Variables	Indicadores	Factor a medir
Evaluar las condiciones actuales de construcción y operatividad de la “PTAR Laberinto”.	¿Cómo se evalúan las condiciones actuales de construcción y operatividad de la “PTAR Laberinto”?	El porcentaje de eficiencia de remoción de DBO y sólidos totales suspendidos, determinará el proceso de tratamiento más adecuado para la “PTAR Laberinto de acuerdo a la Norma OS.090.	DE CALIBRACIÓN: Porcentaje de remoción de DBO y sólidos totales en suspensión. EVALUATIVA: Selección del proceso de tratamiento más adecuado de acuerdo a la Norma OS.090.	Remoción de DBO y sólidos totales en suspensión Norma OS.090	Porcentaje de eficiencia de remoción de DBO y sólidos totales en suspensión para la “PTAR Laberinto”.
Verificar la eficiencia del software “PTAR DISEÑO”, para evaluar el buen funcionamiento de la “PTAR Laberinto”.	¿Cuál es la eficiencia del software “PTAR DISEÑO”, para verificar y evaluar el buen funcionamiento de la “PTAR Laberinto”?	La aplicación del software “PTAR DISEÑO” para evaluar el diseño y eficiencia de la “PTAR Laberinto” resulta ser óptimo de acuerdo lo que se ejecutó en el proyecto.	DE CALIBRACIÓN: Uso del software “PTAR DISEÑO”. EVALUATIVA: Evaluación de la eficiencia del software.	Software “PTAR DISEÑO” Tecnologías complementarias al RAFA	Incidencia en la eficiencia del tratamiento preliminar, primario y secundario de la “PTAR Laberinto” de acuerdo al software “PTAR DISEÑO”

<p>Determinar el tratamiento secundario complementario al RAFA, que optimiza mejor la remoción de carga orgánica soluble de la “PTAR Laberinto”.</p>	<p>¿Qué tratamiento secundario complementario o al RAFA, optimiza mejor la remoción de carga orgánica soluble de la “PTAR Laberinto”?</p>	<p>Los tratamientos secundarios complementarios optimizan el funcionamiento del reactor anaerobio de flujo ascendente de la “PTAR Laberinto”</p>	<p>DE CALIBRACIÓN: Aplicación de tratamientos secundarios complementarios</p> <p>EVALUATIVA: Optimización del RAFA.</p>	<p>Tratamientos secundarios complementarios</p> <p>Software “PTAR DISEÑO”</p> <p>Reactor anaerobio de flujo ascendente</p>	<p>Porcentaje de eficiencia de remoción de carga orgánica soluble de los procesos complementarios del RAFA en la “PTAR Laberinto”.</p>
<p>Determinar en qué condiciones se encuentra actualmente el agua residual doméstica de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto.</p>	<p>¿En qué condiciones se encuentra actualmente el agua residual doméstica de la localidad de Puerto Rosario – Laberinto?</p>	<p>La caracterización del agua residual doméstica en la localidad de Puerto Rosario – Laberinto permitirá determinar la composición típica del desagüe doméstico crudo.</p>	<p>DE CALIBRACIÓN: Caracterización del agua residual doméstica.</p> <p>EVALUATIVA: Composición típica del desagüe doméstico crudo en la localidad de Puerto Rosario – Laberinto.</p>	<p>Ensayo microbiológico y químico del agua residual</p> <p>Niveles de concentración del agua residual doméstica</p>	<p>Concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al agua residual de la “PTAR Laberinto”.</p>

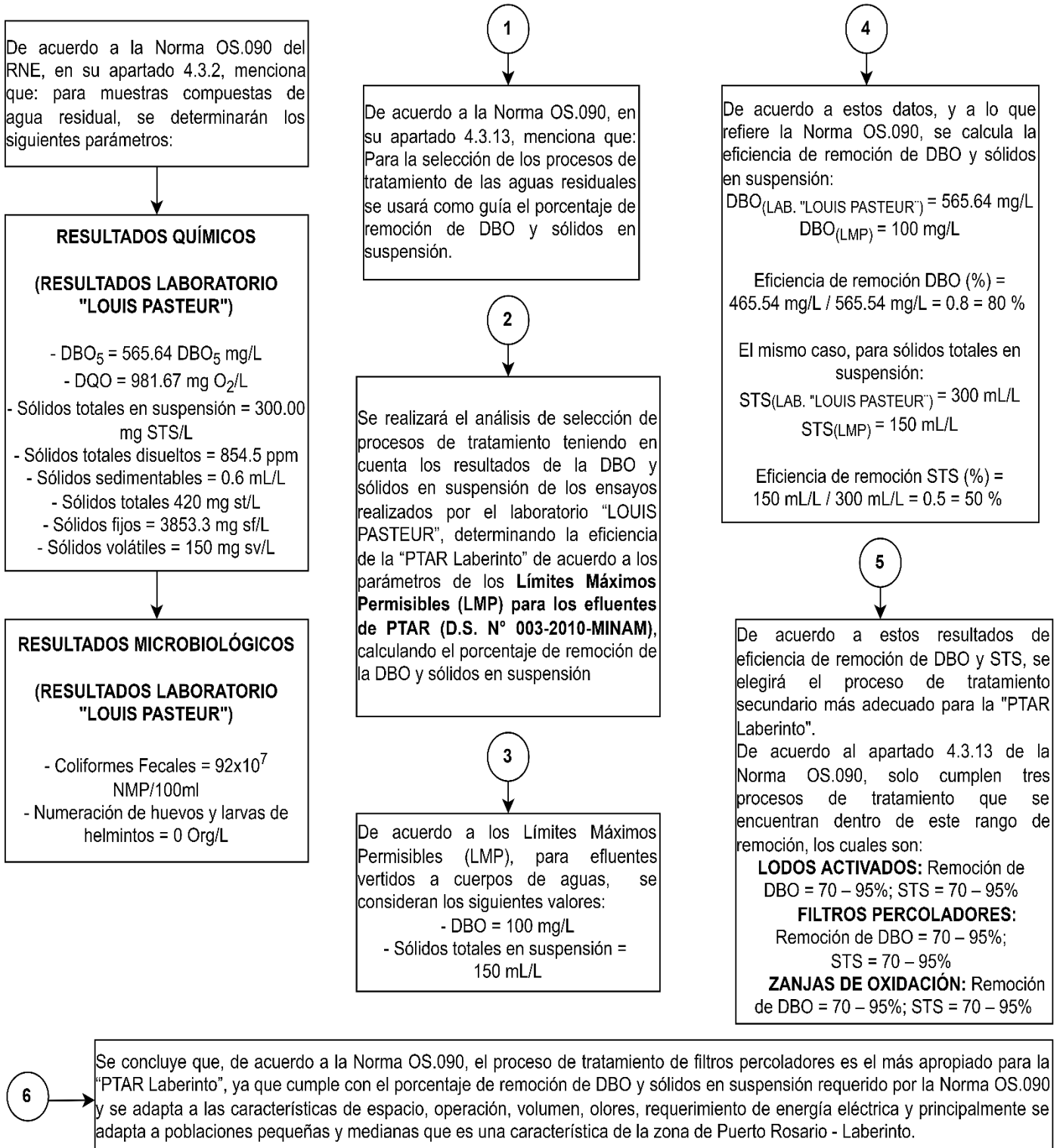
NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

ANEXO 06: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
V. DE CALIBRACIÓN: Tratamiento secundario de filtro percolador	Filtro Percolador	Carga orgánica volumétrica (Kg DQO/m ³ *día)
		Concentración de DBO en el afluente (mg/L)
		Área por filtro (m ²)
		Producción de lodo (Kg SST/d)
Diseño hidráulico (Software PTAR DISEÑO)		Dotación máxima de agua potable (L/hab*día)
		Población proyectada o futura (hab)
		Caudal de aguas residuales domésticas (L/s)
		Caudales de diseño mínimo, medio y máximo (m ³ /día)
		Sólidos suspendidos totales y volátiles (mg/L)
V. EVALUATIVA: Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA)		DBO ₅ (mg/L)
		DQO (mg/L)
Parámetros de caracterización de agua residual (Análisis laboratorio "LOUIS PASTEUR")		Sólidos totales en suspensión (mL/L)
		Sólidos totales disueltos (mg/L)
		Sólidos sedimentables (mg/L)
		Sólidos totales (mg/L)
		Coliformes fecales (NMP/100ml)
		Huevos y larvas de helmintos (Org/L)

ANEXO 07: EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE CONSTRUCCIÓN Y OPERATIVIDAD DE LA "PTAR LABERINTO"

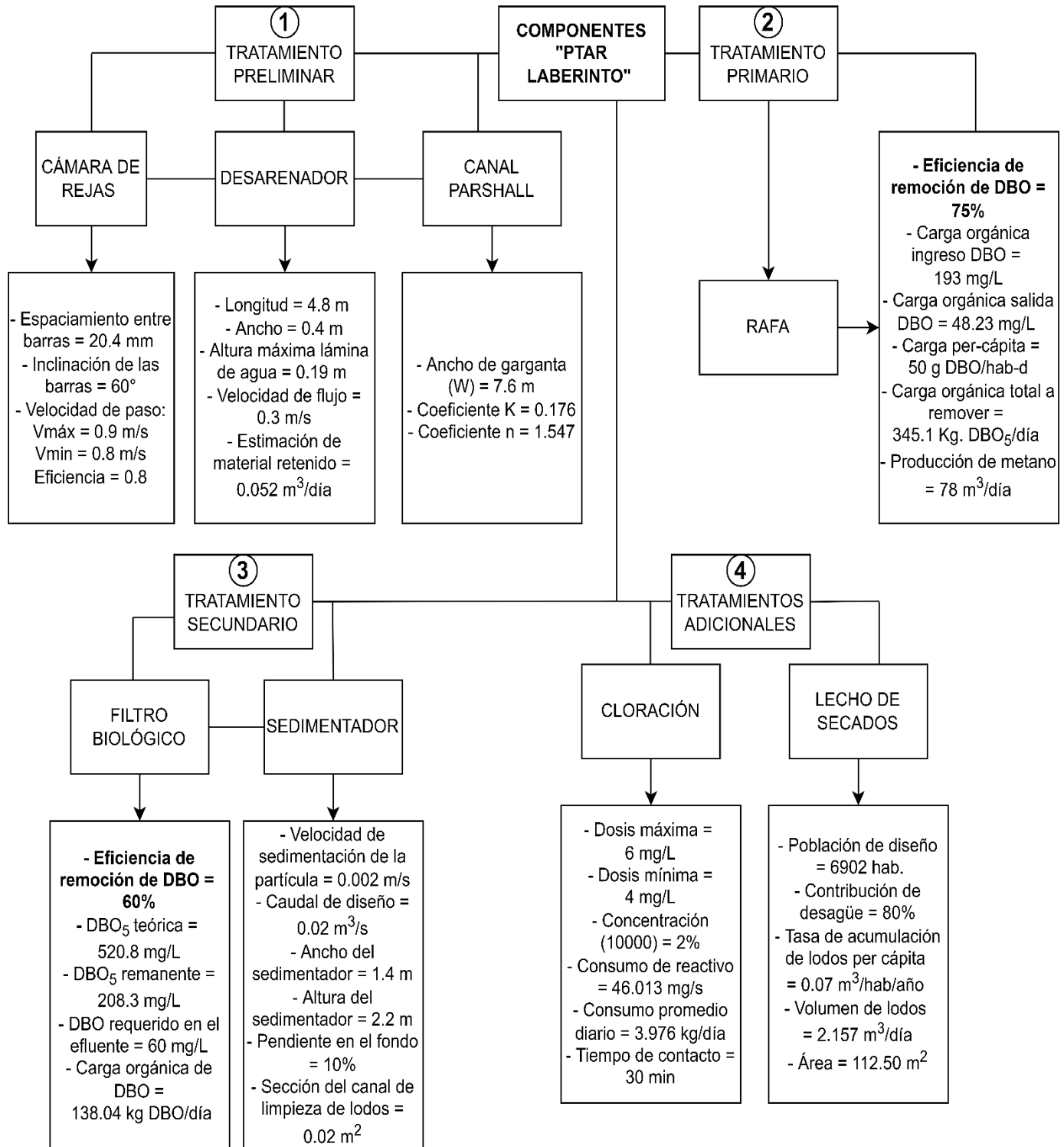
EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE CONSTRUCCIÓN Y OPERATIVIDAD DE LA "PTAR LABERINTO"



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

ANEXO 08: COMPONENTES DE LA "PTAR LABERINTO" Y EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE LOS PARÁMETROS MÁS IMPORTANTES

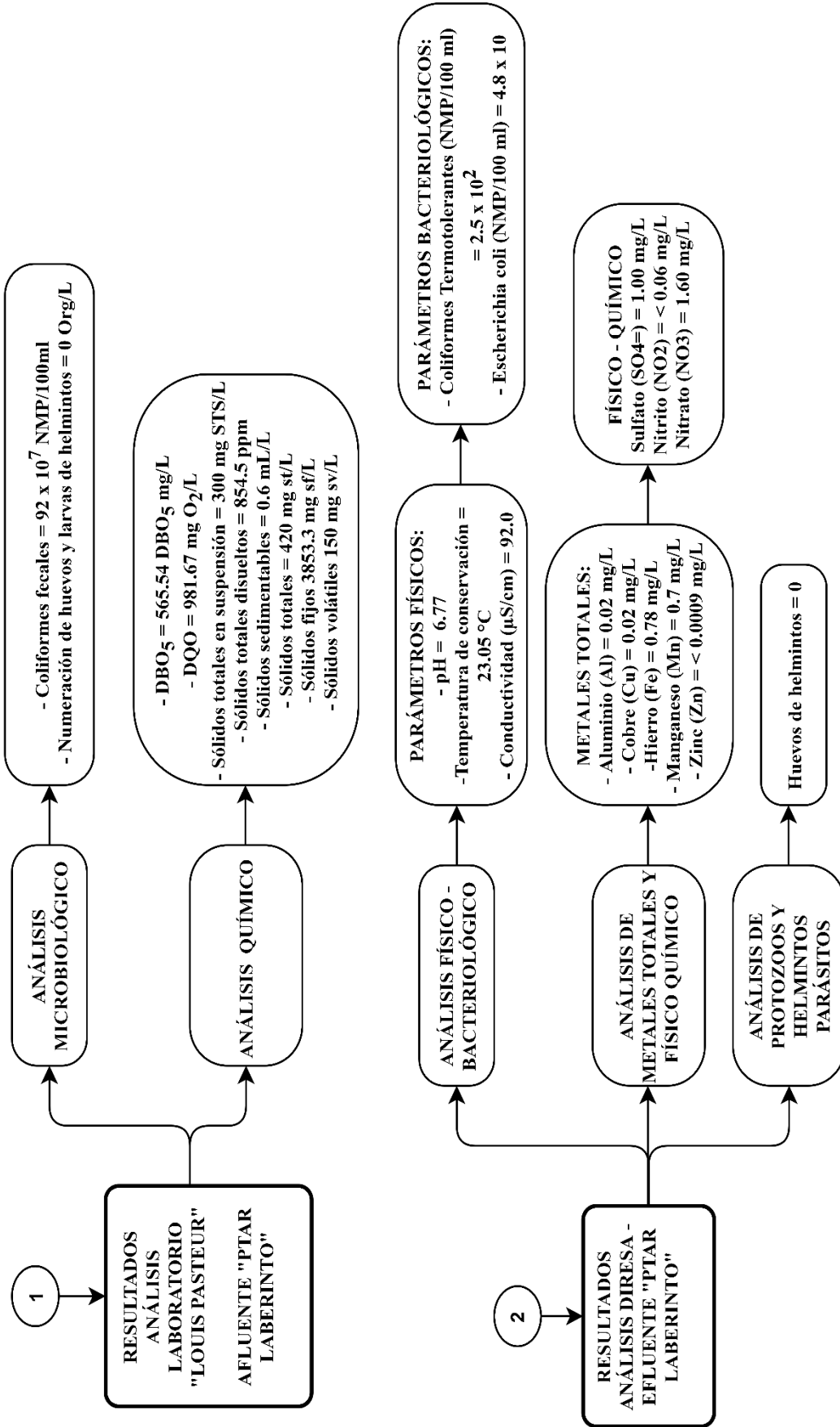
COMPONENTES "PTAR LABERINTO" Y EFICIENCIAS DE REMOCIÓN PARÁMETROS MÁS IMPORTANTES



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

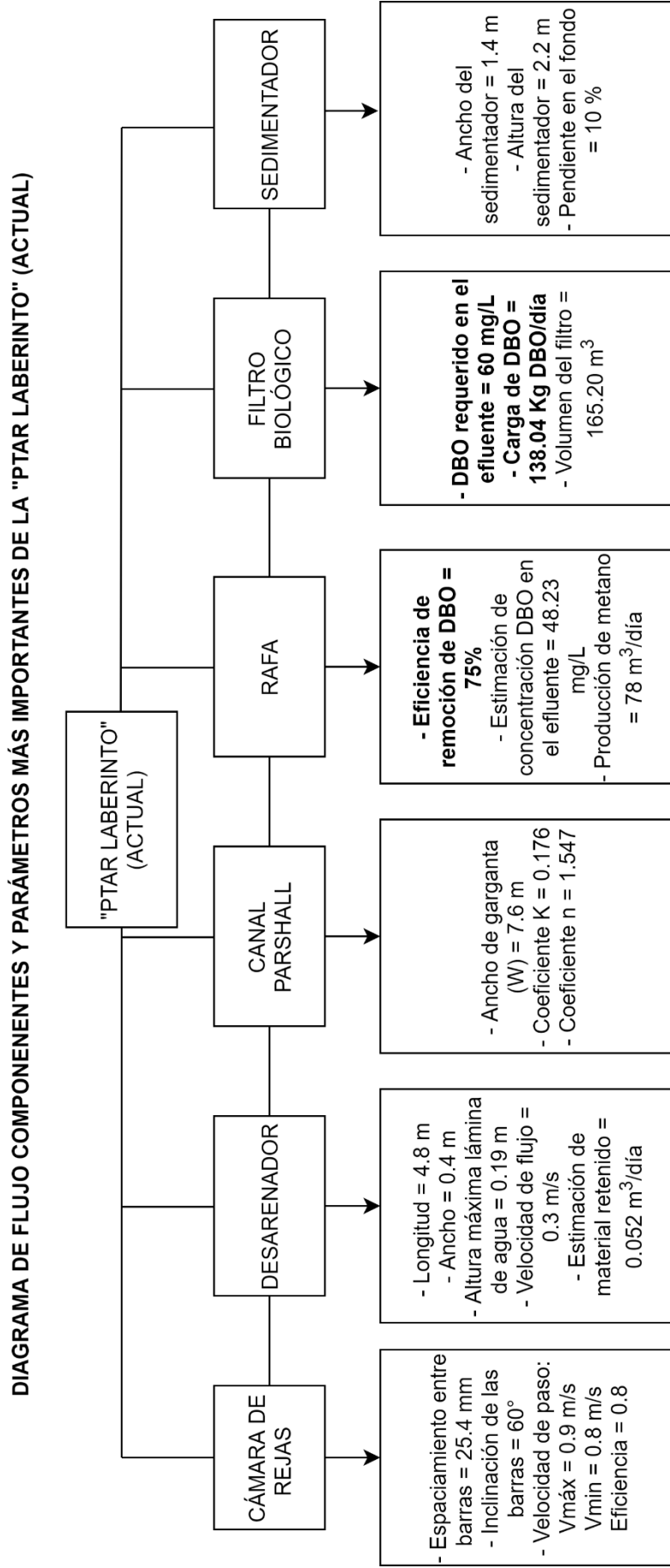
ANEXO 09: VALORES DE LOS PARÁMETROS CARACTERIZADOS EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS

VALORES DE LOS PARÁMETROS CARACTERIZADOS EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

**ANEXO 10: DIAGRAMA DE FLUJO COMPONENTES Y PARÁMETROS MÁS IMPORTANTES DE LA "PTAR LABERINTO"
(ACTUAL)**

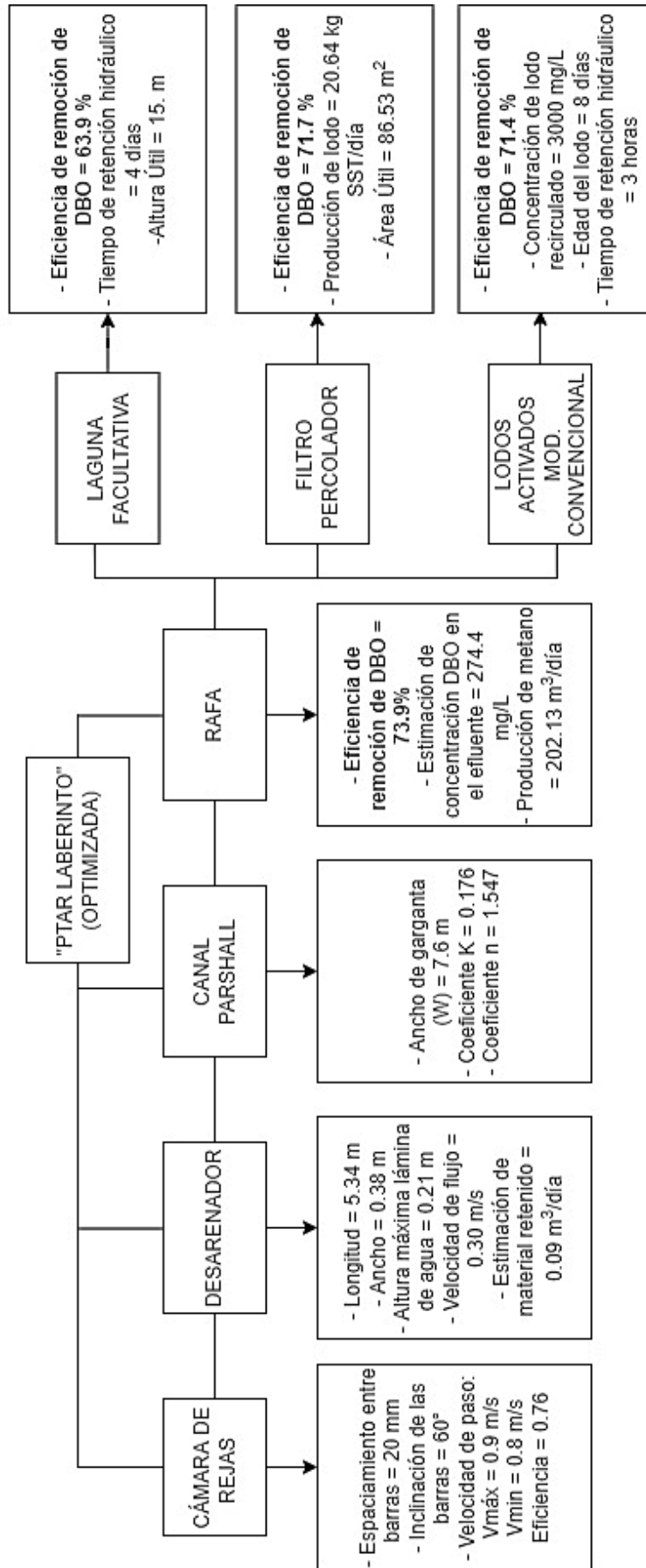


NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

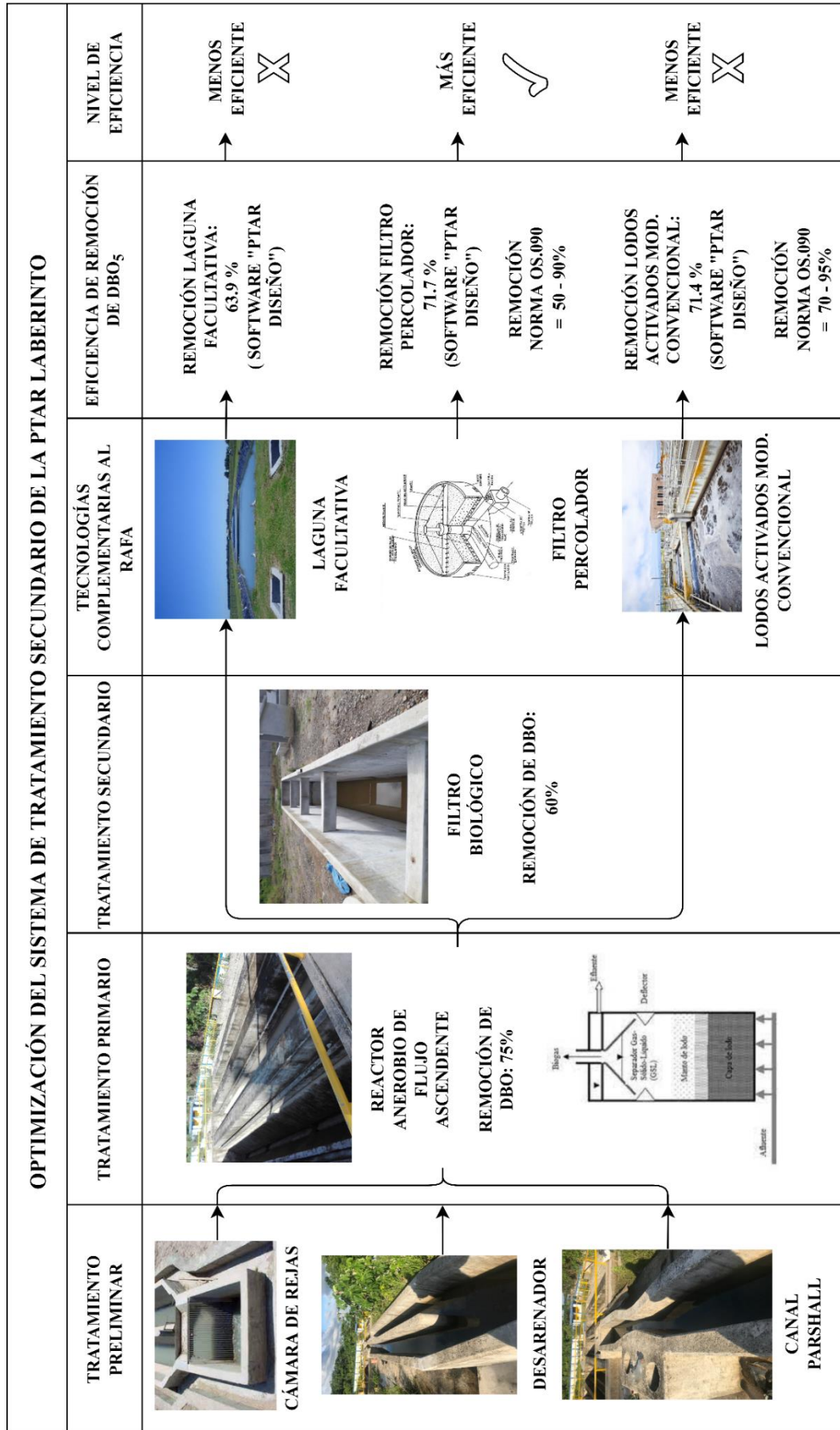
DIAGRAMA DE FLUJO COMPONENTES Y PARÁMETROS MÁS IMPORTANTES DE LA "PTAR LABERINTO" (OPTIMIZADO)

NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo

DIAGRAMA DE FLUJO COMPONENTES Y PARÁMETROS MÁS IMPORTANTES DE LA "PTAR LABERINTO" (OPTIMIZADA)



ANEXO 11: DIAGRAMA DE FLUJO DE LA OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO Y PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA SOLUBLE



NOTA: Elaborado por el equipo de trabajo.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-042



Registro N° LE - 042

INFORME DE ENSAYO
LLP-3710-2021
SO-1268-2021

Pág. 1 de 1

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Solicitante: Carlos Paul Ramirez Neira
Dirección Legal: Jr. Cajamarca N° 509

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Nombre del Producto: Agua residual
Matriz microbiológico: Agua residual industrial
Matriz química: Agua residual
Fecha de Ingreso de Muestra: 2021/10/04
Fecha de Ensayo: 2021/10/04
Nro Cotización: 131-09-2021

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):

Muestreo realizado por: Carlos Paul Ramirez Neira.
Muestreo realizado según el instructivo:
LLP-MP14-101: Instructivo Toma-Preservación de Muestras de alimentos y Aguas Laboratorio Microbiológico.
LLP-MP14-106: Instructivo Toma - Preservación de Muestras de Aguas - Laboratorio Químico
Fecha de Muestreo: 2021/10/02
Hora de toma de muestra: 14:35
Procedencia de la Muestra: Salida matriz alcantarillado - Laberinto.
Cantidad y Descripción de la Muestra: 01 frasco de polietileno de 250ml estéril, frascos de polietileno de 250ml, 500ml y 1L; transportado en cadena de frío.

REPORTE DE RESULTADOS

Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2021/10/11

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.

RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
Coliformes Fécales	NMP/100ml	92x10 ⁷
Numeración de huevos y larvas de helmintos (*)	Org/L	0

RESULTADOS QUÍMICOS

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DBO ₅	DBO ₂ mg/L	565,54
DQO	mg O ₂ /L	981,67
Sólidos totales en suspensión	mgSTS/L	300,00
Sólidos totales disueltos (*)	ppm	854,5
Sólidos sedimentables (*)	mL/L	0,6
Sólidos totales (*)	mg st/L	420
Sólidos fijos (*)	mg sf/L	3853,3
Sólidos volátiles (*)	mg sv/L	150

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
R Resultado referencial por superar el tiempo establecido por el método para su determinación.

Métodos de Referencia:

Coliformes Fecales (NMP)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part. 9221 E-1, 23rd (2017)
Numeración de huevos y larvas de Helmintos	Analysis of Wastewater for Use in Agriculture - A Laboratory Manual of Parasitological and Bacteriological Techniques Cap. 2 (1996)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. (2017)
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. (2017)
Sólidos Totales en Suspensión	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Ed. (2017)
Aceites y Grasas	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 D, 23rd Ed. (2017)
Sólidos totales disueltos	2017 Standard Methods for the examination of Water and Wastewater 23rd EDITION, Part 2540B Total Dissolved Solids Dried at 180°C. Pág 2 -65
Sólidos sedimentables	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 F, 23rd Ed. (2017)
Sólidos totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B. Solids. Total Solids Dried at 103-105°C. 23rd Edition, 2017.
Sólidos Fijos y Volátiles	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 2540 E. Solids. Fixed and Volatile Solids Ignited at 550°C. 23rd Edition, 2017.

Biga, Mercedes Maritza Quispe Flórez
C. B. P. 4917

DIRECTOR DE SISTEMA DE CALIDAD

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

LLP-MP17-F02 VER 10 MAYO 2021

Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq - Cusco Telefax: 084-234727 - 771906 Cel. 975713500 - 974787151
laboratoriolouispasteur@yahoo.es www.lablouispasteur.pe



Laboratorio Louis Pasteur S.A.S.

Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq

Celular: 975 713500 - 974767151
laboratoriolouispasteur@yahoo.es
www.lablouispasteur.pe

CADENA DE CUSTODIA

Datos del cliente (A nombre de quien debe salir los resultados): Carlos Paul Ramirez Neira
Razón social: Investigación - TESIS-UNA PUNO - E.A ING. CIVIL RUC: _____
Dirección: Jr. Cajamarca N° 509 Teléfono: 957 776340
Contacto: carlospic23@gmail.com
Muestreo realizado por: Personal del laboratorio Cliente
Fecha de toma de muestreo 02/10/2021 (*) Cotización N° 137-09-2021 SO: 1268-2021

Nro.	HORA	NOMBRE DE LA MUESTRA	MATRIZ	UBICACION	ANALISIS DE LABORATORIO
1	14:30	Coliformes Totales	A.residua	salida matriz alcantarilla	Microbiológico
2	14:40	Huevos y larvas helmintos	A.residua	"	microbiológico
3	14:35	DBOs	A.residua	"	Químico
4	14:57	DQO	A.residua	"	Químico
5	14:43	Sólidos Totales	A.residua	"	Químico
6	14:43	Sólidos Totales suspendidos	A.residua	"	Químico
7	14:43	Sólidos Totales disueltos	A.residua	"	Químico
8	14:57	Sólidos Fijos y volátiles	A.residua	"	Químico
9	14:57	Sólidos sedimentables	A.residua	"	Químico

OBSERVACIONES EN EL MUESTREO:

Todo con normalidad, se llevó a cabo el procedimiento de muestreo de acuerdo al instructivo para toma de muestras de agua residual entregado por el laboratorio. Se cerraron herméticamente los frascos y colocado con los geles refrigerantes.

PARAMETROS IN SITU:

coliformes totales, huevos y larvas helmintos, DBOs, DQO, sólidos totales, sólidos totales suspendidos, sólidos totales disueltos, sólidos fijos y volátiles, sólidos sedimentables.

DATOS ADICIONALES:

Se agregaron 90 gotas de ácido sulfúrico diluido en la muestra para el ensayo de DQO.

NOMBRE DEL MUESTREO: Análisis Químico Agua Residual Matriz Alcantarillada - Laboratorio

Condiciones de Traslado y Preservación de muestras a responsabilidad del muestreador hasta su ingreso al laboratorio. (Llenado en el laboratorio)	
Temperatura ambiente	SI (X) NO ()
Refrigerado (Entre 0 - 4°C alimentos y ≤ 6°C agua)	SI (X) NO ()
Temperatura de ingreso a Laboratorio	
Condición de Recepción de la Muestra (Para uso del laboratorio marcar con una x)	
En buen estado/cantidad adecuada	SI (X) NO ()
Recipiente apropiado	SI (X) NO ()
Preservadas	SI (X) NO ()
ácido sulfúrico diluido (H ₂ SO ₄)	H ₂ SO ₄ () H ₂ SO ₄ 1:1 (X) HCL 1:1 () Tiosulfato 3% () Tiosulfato 10% ()
Dentro del tiempo de conservación	SI (X) NO ()

Nombre y apellido del cliente que entrega la muestra: <u>Carlos Ramirez Neira</u>	Firma:
Fecha y hora de entrega: <u>03/10/2021 15:37 p.m.</u>	
Nombre(s) y Apellidos(s) del Responsable del muestreo: <u>Carlos Ramirez Neira</u>	Firma:
Fecha y hora de muestreo: <u>02/10/2021 14:30 p.m.</u>	
Personal que Recepciona las muestras:	
Fecha y hora de recepción: <u>04/10/2021</u>	

(*) De existir una cotización aprobada, deben consignar el número de cotización

LLP-MP14-F04 VER12 AGOSTO 2021

MATRIZ:

ALIMENTOS PREPARADOS = AP
AGUAS SUPERFICIALES = AS
ALIMENTOS COCIDOS DE RECONSTITUCION INSTANTANEA = ACR

CEREALES Y DERIVADOS = CD
AGUA DE MANANTIAL = AM
ENRIQUECIDO LACTEO = EL

LECHE Y PRODUCTOS LACTEOS = LP
AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL = AR
MEZCLA FORTIFICADA = MF

AGUA POTABLE = AG
BIZCOCHOS = B
CEREALES Y MENESTRAS = CM

AGUA RESIDUAL = AR



Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda.

COTIZACION DE SERVICIOS N° 131 - 09 - 2021

Fecha:	24/09/2021		
Solicitante:	CARLOS RAMIREZ NEIRA		
Telefono:	951116340	Email:	carlosfc23@gmail.com

Análisis Químico				
De acuerdo a lo solicitado por el cliente				
Muestra: AGUA RESIDUAL				
Cantidad de Muestras: Frasco estéril de 250ml, 02 Frascos de plástico de 1000ml, 500ml, 250ml.				
Analisis Solicitado	Metodo	N° de muestras	Precio Unitario	Precio Total S/
Coliformes Totales (*)	Standard Methods 23rd Edition	1	S/. 80.00	S/. 80.00
Huevos y larvas de Helminfos (*)	Standard Methods 23rd Edition	1	S/. 50.00	S/. 50.00
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO5)	Standard Methods 23rd Edition	1	S/. 50.00	S/. 50.00
Demanda Química De Oxígeno (DQO)	Standard Methods 23rd Edition	1	S/. 50.00	S/. 50.00
Sólidos Totales (*)	Standard Methods 23rd Edition	1	S/. 30.00	S/. 30.00
Sólidos Totales Suspendidos	Standard Methods 23rd Edition	1	S/. 50.00	S/. 50.00
Sólidos Totales Disueltos (*)	Standard Methods 23rd Edition	1	S/. 30.00	S/. 30.00
Sólidos Fijos y Volátiles (*)	Standard Methods 23rd Edition	1	S/. 30.00	S/. 30.00
Sólidos Sedimentables (*)	Standard Methods 23rd Edition	1	S/. 30.00	S/. 30.00
Sub Total (S/) (EL COSTO NO INCLUYE IGV)				S/ 400.00

(*) Los métodos no han sido acreditados por INACAL-DA

Sub Total (S/)		S/.	400.00
Gastos Logísticos (S/)		S/.	60.00
IGV (S/)		S/.	82.80
Precio Total (S/)		S/.	542.80
Entrega de resultados:	15 días de recepción de la muestra en el Laboratorio		
Condiciones de pago:	100% al ingreso de las muestras		
Cuenta Bancarias:			
Banco de la Nación	00-161-316083		
Banco de la Nación (CCI)	0181661000161316083-05		
Banco de la Nación - DETRACCION	00-161-070181		
Interbank (Cta. Corriente)	420- 3000416630		
Interbank (CCI)	003-420-00-3000416630-79		

Nota: Sirvase confirmar el servicio con 48 horas de anticipación.

No incluye servicio de envío de las facturas generadas ni resultados, deben ser recogidos por el solicitante (o alguna persona acreditada por éste) en nuestras instalaciones

Cotización válida por 30 días

Atentamente,

Gissell Unda Mendoza
Oficina de Atención al Cliente

LLP-MP02-F02 VER10 JUNIO 2019



Laboratorio Louis Pasteur

INSTRUCTIVO PARA TOMA DE MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL

MATERIALES PROPORCIONADOS:

- Cooler de plástico con geles refrigerantes
- Guantes de látex.
- Cadenas de custodia.
- Ácido sulfúrico diluido.

Para ensayos Microbiológicos:

- 01 frasco de 500 ml debidamente etiquetado.
- 01 frasco de 1000 ml debidamente etiquetado.

Para ensayos químicos:

- 03 frascos de 1000 ml debidamente etiquetados.
- 01 frasco de 250 ml debidamente etiquetados.

PROCEDIMIENTO:

1. Colocar el cooler con el material cerca al punto del muestreo.
2. Colocarse los guantes.
3. Se rotulan los frascos con la información de la muestra en la etiqueta.
4. Se procede a coleccionar la muestra de para ensayos microbiológicos, (iniciando por el de Coliformes totales).
5. Se procede a coleccionar la muestra para ensayos químicos(para el ensayo de DQO se agrega 10 gotas de Ácido sulfúrico diluido a la muestra).
6. Inmediatamente se colecciona la muestra, los frascos deben ser cerrados herméticamente, rotulados con la información correspondiente al punto del muestreo y colocados en el cooler con los geles refrigerantes.
7. NOTA: todas las muestras se toman hasta cuello de botella (**NUNCA COMPLETAMENTE LLENOS**), llenar la cadena de custodia y transportar las muestras al laboratorio antes de las 24 horas de tomada la muestra.

Urb. Velasco Astete D-18B Wanchaq Telefax 084-234727- 084 771906 Celular 974787151
975506157 Laboratoriolouispasteur@yahoo.es – www.lablouispasteur.pe – Cusco Perú
RUC: 20114835260



GOBIERNO REGIONAL DE MADRE DE DIOS
DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD DE MADRE DE DIOS
"Año de la Universalización de la Salud"
"Madre de Dios Capital de la Biodiversidad del Perú"



Puerto Maldonado, 16 de Diciembre del 2020.

OFICIO N° 1475-2020-GOREMAD/DIRESA-ASB-DESA-DG

Sr:

Carlos Paul Ramírez Neira
Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del
Altiplano
Ciudad.

ASUNTO: Remito Informe de Ensayos Físico-Bacteriológicos, Químico y Parasitológico.
Referencia: Solicitud. Hoja de Trámite Exp. N° TD-4805-DIRESA.

Es grato dirigirme a Usted; para saludarlo cordialmente y de acuerdo al documento de la referencia remitirle Adjunto los informes de Ensayo Físico-Bacteriológico N° 05 – 2020, informe de ensayo Físico Químico N° 060 - 2020 e informe de ensayo Parasitológico N° 046-2020 de muestra correspondiente a agua residual; procedente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) - Laberinto-Distrito y Provincia de Tambopata - Madre de Dios, ejecutado con los equipos del Laboratorio de Microbiología de Aguas y Alimentos de la DESA, por el Dr. Blgo. Roberto Carlos Gonzales Gonzales

Se hace de conocimiento para los fines consiguientes.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para renovarle las consideraciones más distinguidas

Atentamente:



cc
Archivo
RRTA /JCFLL/RCGG.

GOBIERNO REGIONAL DE MADRE DE DIOS
DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD


M.C. Ricardo Ronald TELLO ACOSTA
C.M. N° 2333
DIRECTOR GENERAL

Av. Ernesto Rivero N° 475 – Puerto Maldonado - Tel. (082) 571127 – Anexos : 2210
www.diresamadrededios.gob.pe

Escaneado con CamScanner

GOBIERNO REGIONAL DE MADRE DE DIOS
DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL
LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA DE AGUAS Y ALIMENTOS



INFORME DE ENSAYO FÍSICO-BACTERIOLÓGICO N° 05- 2020

Solicitante : Carlos Paul Ramirez Neira
Referencia : Solicitud. Hoja de Trámite Exp. N° TD-4805-DIRESA
Tipo de muestra : Categoría 3: D1-Riego de vegetales-Agua para riego no resfriado.
Procedencia de la Muestra : Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) - Laberinto-Distrito Tambopata - Provincia de Tambopata - Madre de Dios
Fecha de ingreso al laboratorio : 10 de Diciembre del 2020.
Hora de ingreso al Laboratorio : 12:10pm
Fecha de análisis : 10 de Diciembre del 2020.

I. RESULTADOS

N°	Código de Muestra- LAA-DESA	Procedencia	T° Ambiente (°C)	Fuente	Punto de Muestreo	Fecha / hora muestreo	Fecha de recepción / hora análisis Bacteriológico	PARAMETROS				Observaciones	
								Ph	Tª de conductividad (°C)	Físicos	Bacteriológicos		
1	M-21	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) - Laberinto	28°C	Agua residual	Salida de la Cámara de contacto cloro	10:12/20 10:15am	10/12/2020 11:10am	6.77	23.05	92.0	2.5 X 10 ⁷	4 B x 10	Las muestras se tomaron en frascos de vidrio estéril de 250ml y transportadas en cadena de frío. CATEGORÍA 3: D1-Riego-Agua para riego no resfriado.

Fuente: LAA-DESA, RCOG-2020

II. METODO

pH: Método electrométrico Norma Técnica Peruana NTP 214.029 : 2000 Standard Methods APHA-AWWA-WEF. Método 4500-H + A. Método Electrométrico. (1ª Edición, 1993).

COLIFORMES TERMOFILANTES Y ESCHERICHIA COLI: APHA, AWW, WEF, Part. 9221B.E. 21th ed. 2005 Numeración Coliformes totales, Coliformes fecales y E coli Método Estándarizado de Tubos Múltiples.

ESTANDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA

Parámetro	unidad	CATEGORÍA 3: D1- Riego de Vegetales-Agua para riego no resfriado
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	1000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1000
Ph	Unidad de Ph	6.5 - 8.5
Conductividad	umho/cm	2500
Temperatura		23

Fuente: Decreto Supremo Nº 004-2017-MINAM. Aprobación Especificaciones de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias.

*NMP/100: Número más Probable en 100ml

NOTA

Los resultados solo se validan si las pruebas se realizan
en el laboratorio de referencia y en el laboratorio de referencia.
Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización del Laboratorio de Aguas y Alimentos de la DESSALCO.
Los resultados de las muestras no deben ser utilizados como una certificación de conformidad

GOBIERNO REGIONAL DE MADRE DE DIOS
DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD
Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental
Dr. Roberto Carlos Gonzales
Especialista en Microbiología de
Aguas y Alimentos
Unidad de Salud Ambiental Básico



DIRECCION REGIONAL DE SALUD MADRE
DE DIOS

DIRECCION EJECUTIVA DE
SALUD AMBIENTAL



"Año de la Universalización de la Salud"
"Madre de Dios Capital de la Biodiversidad del Perú"

LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA DE AGUAS Y ALIMENTOS
INFORME DE ENSAYO FISICO-QUIMICO N° 60-2020

Solicitado Por: Carlos Paul Ramirez Neira
Referencia: Solicitud. Hoja de Trámite Exp. N° TD-4805-DIRESA
Muestreo Realizado Por: Carlos Paul Ramirez Neira
Cantidad de Muestra: 1
Procedencia de la muestra: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) - Laberinto-Distrito Tambopata - Provincia de Tambopata - Madre de Dios
Producto: Categoría 3: D1-Riego de vegetales-Agua para riego no restringido.
Analista: Dr. Blgo. Roberto Carlos Gonzales Gonzales
Fecha de Recepción: 2020/12/10 al 2020/12/16
Fecha de Ensayo: 2020/12/11
Fecha de Emisión: 2020/12/16

RESULTADOS

Tipo Ensayo		Unidad	Resultados	Limites Permisibles
* Metales Totales (ICP-AES)		L.D.M.		
Al	Aluminio	0.001 mg/L	0.02	5.0 mg/L
Cu	Cobre	0.0004 mg/L	0.02	0.2 mg/L
Fe	Hierro	0.0005 mg/L	0.78	5.0 mg/L
Mn	Manganeso	0.0004 mg/L	0.7	0.2 mg/L
Zn	Zinc	0.0009 mg/L	<0.0009	2.0 mg/L
* Fisico Químico		L.D.M.		
SO4=	Sulfato	1.0 mg/L	1.00	1000 mg/L
NO2	Nitrato	0.006 mg/L	<0.006	10 mg/L
NO3	Nitrato	0.2 mg/L	1.60	100 mg/L

Código de Laboratorio	M-67
Fuente	Agua residual
Punto de Muestreo	Salida de la Cámara de contacto cloro
Fecha de Muestreo	10/12/2020
Hora de Muestreo (h)	10:15
Tipo de Producto	Categoría 3: D1-Riego de vegetales-Agua para riego no

Fuente: Decreto supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales D1: Riego de Vegetales-Límites Máximos Permisibles de Parámetros Físico-Químico e Inorgánicos.

Legenda: L.D.M. = Límite de detección del método, L.C.M. = Límite de Cuantificación del método "..." = No Analizado, * = Mayor al valor indicado.

* = Menor que el L.D.M. o L.C.M. indicado. * = Mayor al valor indicado.
* : Los métodos indicados no han sido acreditados por el SNA-INDECOPI.

APENDICE 1 - MUESTRA RECEPCIONADA

Condición de la Muestra

En buenas condiciones, con el volumen, tipo de frasco y preservación según metodología Reservado por el Cliente

Plan/procedimiento de muestreo

APENDICE 2 - MÉTODOS Y REFERENCIAS

Tipo Ensayo	Norma Referencia	Título
Metales (ICP)		
Metales	EPA Method 200.7, Rev. 4.4., 1994	Metodo Aluminio, Bicincolato, Penodato Espectrofotometría
Fisicoquímicos		
Nitró	SM 4500-NO2 - B , 22nd. Ed. 2012	Nitrogen (Nitró). Colorimetric Method
Nitrato	SM 4500-NO3 - E , 23rd. Ed. 2017	Cadmium Reduction Colorimetric Method
Sulfato	SM 4500-SO4 - E , 23rd. Ed. 2017	Sulfate. Colorimetric Method

APENDICE 3: CONCLUSIONES

La muestra con código M-67, los parámetros Al, Cu, Fe, Zn, SO4, NO2 y NO3 No sobrepasan los límites permisibles; mientras que el parámetro Mn sobrepasa el límite permisible.

Los resultados del presente ensayo, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad, solo de carácter REFERENCIAL. Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente. Está prohibido la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización del Laboratorio de Microbiología de la DESA-DIRESA-MOD

GOBIERNO REGIONAL DE MADRE DE DIOS
DIRECCION REGIONAL DE SALUD
Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental
Roberto Carlos Gonzales Gonzales
Dr. Roberto Carlos Gonzales Gonzales
Microbiología de Alimentos y Alimentos
Unidad de Salud Ambiental

Escaneado con CamScanner



GOBIERNO REGIONAL MADRE DE DIOS
DIRECCION REGIONAL DE SALUD MADRE DE DIOS
Laboratorio de Aguas y Alimentos – DESA-MDD
Av. E. Rivero N° 475 Teléfono: 082-571126- Anexo: 2210



"Año de la Lucha contra la Corrupción y la Inmunidad"
"Madre de Dios Capital de la Biodiversidad del Perú"

LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA DEL AGUA
ENSAYOS PARASITOLÓGICOS
INFORME DE ENSAYO N° 046-2020

Solicitante: Carlos Paul Ramirez Neira

REFERENCIA: Solicitud. Hoja de Trámite Exp. N° TD-4805-DIRESA

DATOS DEL MUESTREO (Proporcionados por el solicitante)

Procedencia de la muestra: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) -
Laberinto-Distrito Tambopata -Provincia de
Tambopata - Madre de Dios

Fuente: Agua residual

Cantidad de Muestra: 1

Muestreado por: Carlos Paul Ramirez Neira

CONTROL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 10/12/2020

Fecha de inicio de ensayo: 11/12/2020

Volumen Final concentrado: 15ml

Fecha de fin de ensayo: 15/12/2019

RESULTADOS CUALITATIVOS

Código Lab.	Muestra				Ensayos
	Código de campo	Matriz	Fecha/ hora de muestreo:	Punto de muestreo ⁽¹⁾	Determinación de protozoos y helmintos parásitos. (A ó P /L) ⁽²⁾
M-55	M01	Agua Residual	10/12/2020 12:12pm	Salida de la Cámara de contacto cloro	<i>Entamoeba coli</i>

Método de ensayo: AG-PE-01, Detección de protozoos y helmintos parásitos en agua para consumo humano, basado en APHA, AWW, WEF. 2017. Standard methods for examination of water & wastewater, 23rd Edition.

Observaciones: Se observó en las muestras, materia orgánica en descomposición, organismos de vida libre tales como: algas, diatomeas y nemátodos.

Muestra agotada en los ensayos.

⁽¹⁾ Datos proporcionados por personal responsable del muestreo.

⁽²⁾ Ausencia ó Presencia de quistes de protozoos y huevos de helmintos parásitos.

LIMITES PERMISIBLES SEGÚN PARAMETROS

Parámetro	Unidad de medida	Limite Máximo Permissible
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1

Fuente: Decreto supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales D1: Riego de Vegetales-Límites Máximos Permisibles de Parámetros Microbiológicos y Parasitológicos

Puerto Maldonado, 16/12/2020
RCGG

GOBIERNO REGIONAL DE MADRE DE DIOS
DIRECCION REGIONAL DE SALUD
Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental

[Firma]

Dr. Roberto Carlos Gonzales Gonzales
Esp. en L. en Microbiología de
Aguas y Alimentos
Unidad de Salud Ambiental

Los resultados del informe corresponden solo a las muestras sometidas a ensayo. La reproducción parcial de este informe, no está permitida sin la autorización por escrito de este Laboratorio. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.