

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“DISEÑO HIDRÁULICO-SANITARIO DE LA PTAR DE LA COMUNIDAD DE
CALAMUCHITA APLICANDO LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS
MULTICRITERIO”**

Por:

MENDOZA SORAIDE PAOLA KATERINE

Proyecto de grado presentado a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”** como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE II - 2025
TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con todo mi amor a mi hija, Zoe Rocha. Tu presencia me ha dado fuerzas en los momentos más difíciles

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I ASPECTOS GENERALES

	Página
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes	2
1.3. Planteamiento del problema	3
1.4. Formulación del problema	4
1.5. Objetivos	4
1.5.1. Objetivo general	4
1.5.2. Objetivos específicos	4
1.6. Hipótesis	5
1.7. Justificación	5
1.8. Límites y alcances	5
1.8.1. Límites	5
1.8.2. Alcances	6

CAPÍTULO II FUNDAMENTOS Y TECNOLOGÍAS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

	Página
2.1. Conceptualización de la investigación	8
2.2. Características del agua residual	9
2.2.1. Características físicas	9
2.2.2. Características químicas	10
2.2.3. Características biológicas	10
2.3. Planta de tratamiento de aguas residuales	10

2.3.1. Pretratamiento	13
2.3.2. Tratamiento primario.....	21
2.3.3. Tratamientos anaerobios.....	25
2.3.4. Tratamientos extensivos	28
2.3.5. Tratamientos intensivos.....	32
2.3.6. Tratamientos de desinfección.....	37
2.3.7. Tratamiento de lodos	40
2.4. Importancia del tratamiento de aguas residuales	40

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

	Página
3.1. Enfoque de investigación	42
3.2. Métodos y técnicas de investigación.....	42
3.3. Metodología de análisis multicriterio en la selección de PTAR	43
3.4. Criterios de selección	43
3.5. Normativas y regulaciones aplicables.....	43
3.6. Fuentes de información.....	44
3.7. Procedimiento de recolección de datos	45

CAPÍTULO IV

EVALUACIÓN DESCRIPTIVA DE LA PTAR ACTUAL

	Página
4.1. Descripción de la PTAR existente.....	47
4.1.1. Componentes de la PTAR	48
4.1.1.1. Cámara (A).....	49
4.1.1.2. Cámara (B).....	50
4.1.1.3. Cámara séptica 1	52
4.1.1.4. Cámara séptica 2	54
4.1.1.5. Cámara de inspección	55

4.1.1.6. Lecho de secado	57
4.2. Certificados de calidad de aguas residuales	58
4.2.1. Afección a terceros.....	62
4.3. Conclusiones del estado general aparente de la PTAR existente	63

CAPÍTULO V

INGENIERÍA DEL PROYECTO

	Página
5.1. Periodo de diseño	65
5.1.1. Población de proyecto	65
5.1.2. Población inicial.....	65
5.1.3. Índice de crecimiento	66
5.1.4. Población futura	67
5.1.5. Métodos de cálculo	67
5.1.6. Aplicación	67
5.1.7. Correcciones a la población calculada	68
5.1.7.1. Población flotante.....	68
5.2. Área del proyecto	69
5.2.1. Área de aporte	69
5.2.2. Área de aporte año horizonte	70
5.3. Consumo medio diario	71
5.3.1. Consumo futuro de agua	73
5.4. Coeficiente de retorno	73
5.5. Contribuciones de aguas residuales	74
5.5.1. Caudal medio diario de aguas residuales	74
5.5.2. Caudal máximo horario de aguas residuales	75
5.6. Coeficiente de punta.....	75
5.7. Caudal de diseño	75

5.7.1. Caudal por infiltración	75
5.7.2. Caudal de conexiones erradas	76
5.7.3. Caudal de descargas puntuales.....	76
5.7.4. Caudal mínimo horario de aguas residuales.....	77
5.8. Estudios previos	77
5.8.1. Población servida y población horizonte del proyecto	77
5.8.2. Instalaciones existentes de abastecimiento, alcantarillado y tratamiento	78
5.8.3. Condicionantes para la selección del terreno donde se ubicará la PTAR	79
5.8.3.1. Ubicación del proyecto	79
5.8.4. Condicionantes climáticas y geográficas de la zona de intervención	80
5.8.5. Características del agua residual a tratar	84
5.8.6. Calidad exigida al efluente tratado.....	84
5.8.7. Posible reúso de los efluentes tratados.....	87
5.9. Criterios de selección	89
5.9.1. Eficacia de remoción.....	89
5.9.2. Área del terreno disponible	94
5.9.3. Aceptación social	95
5.9.4. Características medioambientales.	96
5.9.5. Impactos medioambientales	98
5.9.6. Generación de lodos.....	99
5.9.7. Operación y mantenimiento	99
5.9.8. Costos de operación, construcción y mantenimiento	100
5.10. Ponderación de los criterios de selección.....	101
5.11. Valoración de cada alternativa respecto a cada criterio de selección	102
5.12. Propuesta de nueva planta de tratamiento de aguas residuales	108
5.13. Análisis comparativo con la PTAR existente	110

CAPÍTULO VI

DISEÑO HIDRÁULICO-SANITARIO

	Página
6.1. Diseño de las componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	113
6.1.1. Diseño del pretratamiento	113
6.1.1.1. Diseño de la reja gruesa	113
6.1.1.2. Diseño de la reja fina.....	118
6.1.1.3. Diseño del desarenador	124
6.1.1.4. Diseño de aforador Parshall	129
6.1.1.5. Diseño del desgrasador estático	130
6.1.2. Diseño de tratamiento anaerobio.....	132
6.1.3. Diseño de tratamiento biológico	140
6.1.3.1. Diseño del reactor biológico de lodos activados con aireación extendida	140
6.1.3.2. Diseño de sedimentador secundario.....	154
6.1.4. Desinfección UV.....	158
6.1.5. Diseño de lecho de secado de lodos.....	158
6.2. Balance de masas	162

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
7.1. Conclusiones	164
7.2. Recomendaciones.....	164

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ANEXO I CARTA DE RESPUESTA DEL GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL DE URIONDO.

ANEXO II CATEGORIZACIÓN DE PUEBLOS.

ANEXO III CERTIFICADOS DE CARACTERIZACIÓN DEL AGUA.

ANEXO IV TABLA DE PROYECCIÓN, SEGÚN DEPARTAMENTO Y MUNICIPIO
2012-2022.

ANEXO V RESUMEN CLIMATOLÓGICO.

ANEXO VI IMÁGENES DE LA ENCUESTA.

ANEXO VII RESULTADOS DE LA ENCUESTA.

ANEXO VIII RECOLECCIÓN DE MUESTRAS EN EL AFLUENTE Y EFLUENTE DE
LA PTAR CALAMUCHITA.

ANEXO IX ESTIMACIÓN DE COSTOS.

ANEXO X ESPECIFICACIÓN TÉCNICAS DE LA BOMBA TSURUMI 50PU 2.75S.

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2. 1 Punto de descarga del efluente en el Río Guadalquivir, Calamuchita.....	9
Figura 2. 2 Esquema del proceso de tratamiento de aguas residuales.....	11
Figura 2. 3 Procesos típicos del pretratamiento.	19
Figura 2. 4 Esquema del tanque séptico.....	22
Figura 2. 5 Esquema del tanque Imhoff.	23
Figura 2. 6 Esquema de sedimentador primario.....	24
Figura 2. 7 Esquema del reactor anaeróbico de flujo ascendente (FAFA) (CONAGUA)...	25
Figura 2. 8 Esquema del reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA o UASB).	26
Figura 2. 9 Esquema de una laguna anaeróbica.	28
Figura 2. 10 Esquema de una laguna facultativa.....	29
Figura 2. 11 Esquema de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.....	31
Figura 2. 12 Esquema de los contactores biológicos rotativos CBR.	34
Figura 2. 13 Sistema convencional de aireación extendida (AE).	36
Figura 2. 14 PTAR de San Blas "Desinfección UV".	38
Figura 4. 1 Esquema de PTAR actual.	48
Figura 4. 2 Cámara (A) de la PTAR Calamuchita en condiciones actuales.	49
Figura 4. 3 Cámara (B) de la PTAR Calamuchita.....	51
Figura 4. 4 Estado actual de la cámara séptica.....	52
Figura 4. 5 Estado posterior a una limpieza de la PTAR de Calamuchita.	53
Figura 4. 6 Cámara séptica 2 PTAR de Calamuchita.....	54
Figura 4. 7 Cámara séptica 2.....	55
Figura 4. 8 Último componente a la salida de la PTAR (cámara de inspección).....	56
Figura 4. 9 Cámara de inspección de la PTAR Calamuchita.	56
Figura 4. 10 Lecho de secado de la PTAR Calamuchita.	57
Figura 5. 1 Área del proyecto con alcantarillado sanitario.	69

Figura 5. 2 Vista satelital del área del proyecto.	70
Figura 5. 3 Área de año horizonte.	70
Figura 5. 4 Consumo de agua potable de los beneficiarios según la encuesta realizada.	72
Figura 5. 5 Condiciones para medición de caudal del efluente.	74
Figura 5. 6 Emisario de la red de saneamiento en Calamuchita.	76
Figura 5. 7 Ubicación del tanque de almacenamiento.	78
Figura 5. 8 Vista satelital del acceso a la PTAR.	80
Figura 5. 9 Tubería de salida de la PTAR Calamuchita.	85
Figura 5. 10 Vista satelital del Río Guadalquivir.	86
Figura 5. 11 Respuesta a la posibilidad de reutilizar el agua.	88
Figura 5. 12 Recomendación del tipo de reúso.	88
Figura 5. 13 Área de terreno disponible.	95
Figura 5. 14 Respuestas a la propuesta de la nueva PTAR.	96
Figura 5. 15 Disposición al pago de una tarifa.	109
 Figura 6. 1 Cálculo de la velocidad del canal en función al caudal máximo.	 114
Figura 6. 2 Cálculo de la velocidad del canal en función al caudal mínimo.	115
Figura 6. 3 Verificación a caudal medio.	117
Figura 6. 4 Cálculo de canal en función al caudal máximo.	119
Figura 6. 5 Cálculo de velocidad para caudal que pasa.	120
Figura 6. 6 Verificación del caudal medio.	121
Figura 6. 7 Esquema del canal Parshall.	130

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2. 1 Tratamientos contemplados en cada etapa.	12
Tabla 2. 2 Clasificación de las rejillas de desbaste.....	14
Tabla 2. 3 Tipos de tamizado.....	15
Tabla 2. 4 Tipo de desarenadores y sus propiedades.....	16
Tabla 2. 5 Diferencias entre desgrasador estático y desgrasador aireados.....	18
Tabla 2. 6 Ventajas e inconvenientes del tanque séptico como tratamiento primario.	21
Tabla 2. 7 Ventajas e inconvenientes del tanque Imhoff como tratamiento primario.	22
Tabla 2. 8 Ventajas e inconvenientes del sedimentador primario.	24
Tabla 2. 9 Ventajas e inconvenientes de los filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA) como tratamiento secundario.	25
Tabla 2. 10 Ventajas e inconvenientes de los reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA o UASB) como tratamiento secundario.	27
Tabla 2. 11 Ventajas e inconveniente de las lagunas de estabilización.	30
Tabla 2. 12 Ventajas e inconvenientes que presentan los lombrifiltros.....	31
Tabla 2. 13 Principales características de los materiales empleados en los filtros percoladores.	32
Tabla 2. 14 Ventajas e inconvenientes que presenta el CBR.....	34
Tabla 2. 15 Ventajas y desventajas de la aireación extendida (AE).	36
Tabla 4. 1 Ficha técnica de la PTAR actual.....	47
Tabla 4. 2 Resultados de calidad del agua residual-2024 de salida.....	58
Tabla 4. 3 Resultados de sólidos suspendidos totales (SST).....	59
Tabla 4. 4 Resultados de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).	60
Tabla 4. 5 Resultados de la demanda química de oxígeno (DQO).	60
Tabla 4. 6 Resultados de aceites y grasas.....	61
Tabla 4. 7 Resultados de fósforo total (PT).....	61
Tabla 4. 8 Resultados de coliformes totales.	62

Tabla 5. 1 Periodo de diseño.	65
Tabla 5. 2 Resumen de categorización de centro poblados.	66
Tabla 5. 3 Número de viviendas.	66
Tabla 5. 4 Aplicación de métodos de cálculo para la estimación de la población futura.	68
Tabla 5. 5 Valores referenciales de consumo medio diario (L/hab.*día).	71
Tabla 5. 6 Información recolectada mediante la encuesta realizada.	71
Tabla 5. 7 Coeficientes de infiltración en tubos-qinf (L/s-m).	75
Tabla 5. 8 Localización de estudio.	79
Tabla 5. 9 Datos de temperatura.	81
Tabla 5. 10 Datos de precipitación.	82
Tabla 5. 11 Humedad relativa.	83
Tabla 5. 12 Datos de velocidad y dirección del viento.	84
Tabla 5. 13 Clasificación del cuerpo receptor según su aptitud de uso.	86
Tabla 5. 14 Clasificación de los cuerpos de agua según la aptitud de uso.	87
Tabla 5. 15 Eficiencia de las tecnologías.	89
Tabla 5. 16 Características del agua residual.	90
Tabla 5. 17 Análisis de respuestas de las tecnologías.	90
Tabla 5. 18 Demanda bioquímica de oxígeno de la PTAR 2024.	92
Tabla 5. 19 Tipo de agua residual en función del nivel de concentración.	92
Tabla 5. 20 Rendimiento de los siguientes parámetros en función a la LEY 1333.	93
Tabla 5. 21 Rendimiento de los siguientes parámetros de acuerdo al RMCH.	93
Tabla 5. 22 Biodegradabilidad del agua residual.	94
Tabla 5. 23 Tecnologías de tratamientos en función de los malos olores.	97
Tabla 5. 24 Tecnologías de tratamientos en función del ruido.	98
Tabla 5. 25 Comparación de líneas de tratamiento de acuerdo a su grado de integración.	98
Tabla 5. 26 Ponderación de los criterios de selección.	101
Tabla 5. 27 Tabla de selección de alternativas.	105
Tabla 5. 28 Eficacia de remoción de la propuesta.	108
Tabla 5. 29 Resumen de estimación de costos.	110
Tabla 5. 30 Análisis comparativo de la PTAR actual y la PTAR propuesta.	111

Tabla 6. 1 Separación y espesor de los barrotes en rejillas de desbaste.	113
Tabla 6. 2 Velocidades del agua en el canal en el canal de desbaste (del Río, 2018). ...	114
Tabla 6. 3 Velocidades del agua a través de las rejillas de desbaste (del Río 2018).	115
Tabla 6. 4 Cuantificación y caracterización de los residuos generados en el desbaste. .	123
Tabla 6. 5 Criterios de diseño de desarenadores.	125
Tabla 6. 6 Valores recomendados para el dimensionamiento de desarenadores estáticos.	125
Tabla 6. 7 Cargas superficiales según Hazen.	125
Tabla 6. 8 Caudales en función del ancho de garganta en canales Parshall.	129
Tabla 6. 9 Valores de las variables dimensionales del canal Parshall.	129
Tabla 6. 10 Valores recomendados para el dimensionamiento de desgrasadores estáticos.	130
Tabla 6. 11 Resumen de dimensiones para una unidad.	132
Tabla 6. 12 Carga de diseño reactores (RAFA).....	134
Tabla 6. 13 Tiempo de retención en biodigestores RAFA.....	134
Tabla 6. 14 Resultados del dimensionamiento del RAFA.....	139
Tabla 6. 15 Rendimientos de depuración de la aireación extendida.	140
Tabla 6. 16 Determinación de la producción específica de lodos.	141
Tabla 6. 17 Relación entre el volumen de la zona de desnitrificación y el volumen total del reactor biológico.....	145
Tabla 6. 18 Descripción detallada de la bomba.....	149
Tabla 6. 19 Coeficientes A y B para el cálculo de las necesidades de oxígeno.....	152
Tabla 6. 20 Producción de lodos en las distintas líneas de tratamiento de aguas residuales urbanas.	159
Tabla 6. 21 Frecuencia de la descarga de lodos en función de su tipología/ procedencia.	160
Tabla 6. 22 Tiempos de secado en función del tipo de clima, en lechos de secado cubiertos.	161
Tabla 6. 23 Resultados del dimensionamiento del lecho de lodos.	162
Tabla 6. 24 Balance de masas.	162