

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL  
SARACHO  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTO DE GRADO**



**DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES CON TECNOLOGÍA ANAEROBIA DE LA ZONA  
CATEDRAL DE LA CIUDAD DE TARIJA**

**PROPONENTE:**

**SELLIER MISAEL MENDIETA SIVILA**

Tarija – Bolivia  
Febrero de 2016

El Tribunal Calificador del presente trabajo no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidades del autor.

**DEDICATORIA:**

A mis padres y familia: por brindarme su apoyo incondicional y entrega infinita, siendo los primeros en la formación del cimiento de mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS:**

A mis docentes: gratitud; por haber depositado en mí un caudal de enseñanza proyectado a un digno ejercicio profesional.

A mis amigos: Una promesa de Amistad que nos mantendrá siempre unidos; por compartir momentos agradables y difíciles.

A mis padres: reconocimiento y lealtad; por su cariño desinteresado.

**ÍNDICE DEL CONTENIDO**  
**CAPÍTULO I      INTRODUCCIÓN**

1.1	Introducción	1
1.2	Planteamiento del problema	4
1.3	Formulación del problema	5
1.4	Justificación	5
1.5	Objetivos del proyecto	7
	1.3.1 Objetivo general	7
	1.3.2 Objetivos específicos	7
1.6	Marco de referencia	8
	1.6.1 Marco Teórico	8
	1.6.2 Marco Conceptual	10
	1.6.3 Marco Espacial	11
	1.6.4 Marco Temporal	11
1.7	Alcance	12

**CAPÍTULO II      FUNDAMENTOS DEL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL**

2.1	Introducción	13
2.2	Efluentes de aguas residuales	14
2.3	Características de las aguas residuales	15
2.4	Características indeseables de las aguas residuales	17
2.5	Características físicas, químicas y biológicas del agua residual	19
	2.5.1 Características físicas	22
	2.5.1.1 Sólidos totales	22
	2.5.1.2 Olores	22
	2.5.1.3 Temperatura	23
	2.5.1.4 Color	24
	2.5.1.5 Turbiedad	24
	2.5.2 Características químicas	25
	2.5.2.1 Materia orgánica	25

2.5.2.1.1	Medición del contenido orgánico	26
2.5.2.2	Materia Inorgánica	26
2.5.2.3	Gases presentes en el agua residual	27
2.5.3	Características biológicas	27
2.5.3.1	Microorganismos	27
2.5.3.2	Organismos patógenos	29
2.5.3.3	Organismos indicadores	29
2.6	Procesos y operaciones unitarias del tratamiento de aguas residuales	29
2.6.1	Aplicación de los procesos en el tratamiento de aguas residuales	30
2.7	Recuperación y reutilización de efluentes	31
2.8	Normativa boliviana en materia de aguas residuales urbanas	32

### **CAPÍTULO III ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO**

3.1	Caudales de aguas residuales	38
3.1.1	Estimación de los caudales de agua residual	39
3.1.2	Usos del agua	39
3.2	Determinación del caudal	41
3.2.1	Población	41
3.2.2	Aspectos Socioeconómicos	43
3.2.3	Criterio para la determinación del caudal por zonas residenciales	45
3.2.4	Cálculo de población futura y caudal de diseño	47

### **CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE PROCESOS Y SELECCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO**

4.1	Introducción	53
4.2	Proceso de tratamiento	53
4.3	Tratamiento preliminar	55
4.3.1	Rejillas	55
4.3.1.1	Tipos de rejillas	55
4.3.1.2	Consideraciones para el diseño de las rejillas	57

4.3.1.2.1	Velocidad de flujo a través de las rejillas	57
4.3.1.2.2	Inclinación de las barras	58
4.3.1.2.3	Espaciamiento de las barras	58
4.3.1.2.4	Dimensiones de las barras	58
4.3.1.3	Diseño del canal de rejillas de limpieza manual	59
4.3.1.3.1	Área transversal del canal	59
4.3.1.3.2	Pendiente del canal	60
4.3.1.3.3	Longitud de las barras	61
4.3.1.3.4	Cálculo del número de barras	62
4.3.1.3.5	Longitud del depósito o canal	62
4.3.1.3.6	Pérdida de carga	63
4.3.2	Desarenador	64
4.3.2.1	Desarenadores de flujo horizontal	65
4.3.2.1.1	Zona de entrada	66
4.3.2.1.2	Zona de desarenación	66
4.3.2.1.3	Zona de salida	66
4.3.2.1.4	Zona de depósito y remoción de la arena	66
4.3.2.2	Diseño del desarenador de flujo horizontal	67
4.3.2.2.1	Número de unidades	67
4.3.2.2.2	Velocidad de flujo en los desarenadores	67
4.3.2.2.3	Área de los desarenadores	67
4.3.2.2.4	Profundidad de la lámina líquida	70
4.3.2.2.5	Ángulo de transición	70
4.3.2.3	Diseño hidráulico para desarenadores de flujo horizontal	70
4.3.2.3.1	Teoría de la sedimentación discreta	70
4.3.2.3.2	Determinación de la velocidad de sedimentación	71
4.3.2.3.3	Cálculo de las dimensiones del desarenador	73
4.3.2.3.4	Canal colector de arena	74
4.3.2.3.5	Canal Parshall	75
4.3.3	Tanque de sedimentación primaria Imhoff	76
4.3.3.1	Fundamentos del diseño	77

4.4	Tratamiento biológico	77
4.4.1	Procesos aerobios y anaerobios	78
4.4.1.1	Microbiología del proceso aerobio	80
4.4.1.2	Microbiología del proceso anaerobio	80
4.4.2	Procesos unitarios del tratamiento biológico	81
4.4.3	Sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales	81
4.4.3.1	Sistemas biológicos no convencionales	82
4.4.3.1.1	Lagunas de estabilización	82
4.4.3.1.2	Humedales	84
4.4.3.2	Sistemas de tratamiento del tipo convencional	85
4.4.3.2.1	Lagunas aireadas	85
4.4.3.2.2	Biofiltros o filtros percoladores	87
4.4.3.2.3	Lodos activados	89
4.4.3.2.4	Reactor anaerobio UASB	91
4.4.3.3	Sistemas innovadores	92
4.4.3.3.1	Bioreactor de membrana (MBR)	93
4.4.3.4	Sistemas biológicos para remoción de nutrientes	95
4.4.4	Selección del tratamiento primario y secundario	95
4.4.5	Reactores anaerobios UASB	99
4.4.5.1	Microbiología del reactor anaerobio UASB	99
4.4.5.1.1	Fases principales	100
4.4.5.1.1.1	Hidrólisis	100
4.4.5.1.1.2	Acidogénesis	100
4.4.5.1.1.3	Acetogénesis	101
4.4.5.1.1.4	Metanogénesis	101
4.4.5.1.1.5	Sulfurogénesis	102
4.4.5.2	Requisitos Ambientales	102
4.4.5.2.1	Nutrientes	102
4.4.5.2.2	Temperatura	104
4.4.5.2.3	pH, alcalinidad y ácidos volátiles	104
4.4.5.2.4	Materiales tóxicos y control	105



4.4.5.3	Principios del proceso	105
4.4.5.4	Criterios y parámetros de diseño	107
4.4.5.4.1	Carga orgánica volumétrica	107
4.4.5.4.2	Carga hidráulica volumétrica y TRH	107
4.4.5.4.3	Carga biológica	108
4.4.5.4.4	Velocidad superficial del flujo	108
4.4.5.4.5	Sistema de distribución del afluente	109
4.4.5.4.6	Separador GLS	110
4.4.5.5	Eficiencia del sistema	112
4.4.5.5.1	Eficiencia DQO	112
4.4.5.5.2	Eficiencia DBO	112
4.4.5.5.3	Eficiencia de SS	112
4.4.6	Biofiltro o lecho percolador	113
4.4.6.1	Dimensionamiento del Biofiltro percolador	114
4.4.7	Clarificador o decantador secundario	114
4.4.8	Esquema completo de la planta de tratamiento	115
<b>CAPÍTULO V DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO</b>		
5.1	Tratamientos preliminares	117
5.1.1	Dimensionamiento del canal de rejillas de limpieza manual	117
5.1.2	Dimensionamiento del desarenador de flujo horizontal	120
5.1.3	Diseño canal Parshall	123
5.1.4	Diseño del desgrasador	125
5.1.5	Diseño de canales de distribución	126
5.2	Tratamiento principal	126
5.2.1	Reactor UASB	126
5.3	Tratamiento secundario	136
5.3.1	Biofiltro percolador	136
5.3.2	Clarificador	139
5.3.3	Lecho de secado de lodos	140
5.4	Eficiencia de la planta de tratamiento	142

## **CAPÍTULO VI      DESINFECCIÓN**

6.1	Introducción	144
6.2	Métodos de desinfección	145
6.3	Análisis de los factores que influyen en la acción de los desinfectantes	147
6.3.1	Tiempo de contacto	147
6.3.2	Tipo y concentración del agente químico	148
6.4	Desinfección con cloro	149
6.4.1	Reacciones del cloro en agua	150
6.4.2	Determinación de la concentración y tiempo de contacto	152

## **CAPÍTULO VII      CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

7.1	Introducción	157
7.2	Recomendaciones	157

<b>BIBLIOGRAFIA</b>	160
---------------------	-----

### **ANEXOS**

#### **ANEXO I – PLANOS DE LA PTAR**

#### **ANEXO II – ESTUDIOS DE CALIDAD DE AGUA**

#### **ANEXO III – COMPOSICIÓN TÍPICA DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA BRUTA**

#### **ANEXO IV – OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO – PLANTAS DE TRATAMIENTO CON UASB, PERCOLADORES, CLARIFICADORES Y LECHOS DE SECADO**

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1.1	Tipos de agua	10
Tabla 2.1	Características físicas, químicas y biológicas del agua residual	20
Tabla 2.2	Clasificación de microorganismos	28
Tabla 2.3	Clasificación de los cuerpos de agua según su aptitud de uso	34
Tabla 2.4	Límites permisibles para descargas líquidas en mg/l	35
Tabla 2.5	Valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores	36
Tabla 3.1	Datos de población actual de la zona “Catedral”	45

Tabla 3.2	Población total incluyendo las viviendas no encuestadas	46
Tabla 3.3	Total población actual incluyendo margen de error	46
Tabla 3.4	Métodos de proyección en función a la población actual	47
Tabla 4.1	Factores por considerar en la selección y evaluación de las operaciones y procesos unitarios	54
Tabla 4.2	Velocidades de flujo	57
Tabla 4.3	Espesores y espaciamientos de rejillas	58
Tabla 4.4	Clasificación y tamaño de barras	59
Tabla 4.5	Información típica para el diseño según Metcalf y Eddy	63
Tabla 4.6	Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación	72
Tabla 4.7	Dimensiones típicas de medidores Parshall	76
Tabla 4.8	Proceso biológico de tratamiento de aguas residuales	82
Tabla 4.9	Eficiencias de remoción de lagunas de estabilización	83
Tabla 4.10	Eficiencia de remoción del sistema de humedales	85
Tabla 4.11	Eficiencia de lagunas aireadas aerobias	86
Tabla 4.12	Eficiencia de lagunas aireadas facultativas	87
Tabla 4.13	Eficiencia de remoción de biofiltros	88
Tabla 4.14	Eficiencia de remoción de lodos activados	90
Tabla 4.15	Eficiencia de remoción de reactor UASB	92
Tabla 4.16	Eficiencia de remoción del sistema MBR	94
Tabla 4.17	Análisis comparativo de los procesos comúnmente utilizados en el tratamiento de aguas residuales	95
Tabla 4.18	Selección de la opción tecnológica más apropiada para Tarija	98
Tabla 4.19	Composición química de bacterias metanogénicas	103
Tabla 4.20	Eficiencias de la planta de tratamiento compacta	111
Tabla 5.1	Diámetros de arena a remover	121
Tabla 5.2	Dimensiones del canal Parshall	124
Tabla 5.3	Eficiencia de remoción del efluente	137
Tabla 5.4	Eficiencias del sistema	142
Tabla 6.1	Microorganismos comúnmente encontrados en el agua residual	

	y sus correspondientes enfermedades	144
Tabla 6.2	Métodos de desinfección	146
Tabla 6.3	Tabla comparativa	146

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Ubicación geográfica del lugar del proyecto	1
Figura 2.1	Componentes Básicos de tratamiento de aguas residuales	15
Figura 2.2	Esquema de fuentes de agua, usos benéficos, cambios de calidad y necesidad de tratamiento	16
Figura 4.1	Sección transversal del canal de rejillas	60
Figura 4.2	Esquema de rejillas de limpieza manual	61
Figura 4.3	Desarenador (planta y corte longitudinal)	65
Figura 4.4	Desarenador de dos unidades en paralelo (vista en planta)	67
Figura 4.5	Sedimentación de una partícula	69
Figura 4.6	Modelo de sedimentación de una partícula de arena	71
Figura 4.7	Esquema de un desarenador	73
Figura 4.8	Proceso aerobio	78
Figura 4.9	Proceso anaerobio	79
Figura 4.10	Sistema convencional de tratamiento de lodos activados	90
Figura 4.11	Sistemas MBR con membranas sumergidas	93
Figura 4.12	Diseño esquemático de un reactor UASB	106
Figura 4.13	Esquema de la planta de tratamiento compacta	115
Figura 5.1	Dimensiones del canal Parshall	124
Figura 5.2	Separadores GLS	136
Figura 6.1	Desviaciones típicas de los microorganismos con respecto a la ley Chick-Watson	148
Figura 6.2	Porcentajes de HOCL y OCl <sup>-</sup> con respecto a su pH	151
Figura 6.3	Concentración de cloro por tiempo	152

## ÍNDICE DE MAPAS

Mapa N° 1	Localización del Proyecto a Nivel Departamental	2
-----------	---	---

Mapa N° 2	Localización del Proyecto a Nivel Provincial	2
Mapa N°3	Ubicación Geográfica zona de Catedral	3

### **ÍNDICE DE CUADROS**

Cuadro 1.1	Mecanismos predominantes	9
Cuadro 3.1	Población Área de Influencia Zona Catedral, año 2014	42
Cuadro 4.1	Características principales de cuatro tecnologías de tratamiento de aguas residuales	97

### **ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS**

Fotografía 4.1	Rejilla fija con limpieza manual	56
Fotografía 4.2	Rejilla mecánica	57
Fotografía 4.3	Desarenador de flujo horizontal en paralelo	66
Fotografía 4.4	Proceso aerobio	79
Fotografía 4.5	Proceso anaerobio	80

**CAPÍTULO I**  
**GENERALIDADES**

CAPÍTULO II  
FUNDAMENTOS DEL TRATAMIENTO DE AGUA  
RESIDUAL

CAPÍTULO III  
ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO



CAPÍTULO IV  
ANÁLISIS DE PROCESOS Y SELECCIÓN DEL PROCESO  
DE TRATAMIENTO

CAPÍTULO V  
DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO

# **CAPÍTULO VI**

## **DESINFECCIÓN**

# CAPÍTULO VII

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

# BIBLIOGRAFÍA

# ANEXOS

**ANEXO I**  
**PLANOS DE LA PTAR**



**ANEXO II**  
**ESTUDIOS DE CALIDAD DE AGUA**



**ANEXO III**  
**COMPOSICIÓN TÍPICA DEL AGUA RESIDUAL**  
**DOMÉSTICA BRUTA**

**ANEXO IV**  
**OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**  
**PLANTAS DE TRATAMIENTO CON UASB,**  
**PERCOLADORES, CLARIFICADORES Y LECHOS DE**  
**SECADO**