

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DPTO. DE HIDRAULICA OO. Y SS.



**“ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA
BARRIOS DE LA CIUDAD DE TARIJA QUE NO PUEDEN CONECTAR SUS
AGUAS AL SISTEMA PÚBLICO”**

Por:

MAIRA IRAHOLA MURILLO

Proyecto presentado a consideración de la "UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil

Julio 2015
TARIJA-BOLIVIA

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

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA OO. Y SS.

**“ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA
BARRIOS DE LA CIUDAD DE TARIJA QUE NO PUEDEN CONECTAR SUS
AGUAS AL SISTEMA PÚBLICO”**

Por:

MAIRA IRAHOLA MURILLO

Proyecto elaborado en la asignatura CIV - 502

Proyecto de Ingeniería Civil II

**Julio 2015
TARIJA-BOLIVIA
HOJA DE EVALUACIÓN**

ECALUACIÓN CONTINUA

Fecha de presentación:

Calificación Numeral:

Literal:

V°B° Docente CIV 502:

.....

Ing. Juan Carlos Loza

ECALUACIÓN FINAL

Fecha de defensa:

Calificación Numeral:

Literal:

TRIBUNAL 1:

.....

Ing. Alberto Calderón

TRIBUNAL 2:

.....

Ing. Nelson Rodríguez

TRIBUNAL 3:

.....

Ing. Ivar Colodro

El docente y tribunal evaluador del Proyecto de Ingeniería Civil no se solidarizan con los términos, la forma, los modos y las expresiones empleadas en la elaboración del presente trabajo, siendo las mismas únicamente responsabilidad del autor.

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a mis amados
padres, Catalina y Ruben, mis
hermanas Silvana, Katty, y Fabiana,
por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la luz y guía, a mis docentes por las enseñanzas y formación humana que permitieron mi crecimiento tanto intelectual como moral.

A mi querida familia y amigos porque estuvieron conmigo durante toda mi formación académica, brindándome su apoyo incondicional en todo momento.

PENSAMIENTO:

El éxito no es una suma de lo que
hemos logrado, sino de lo que
anhelamos ser .

John Rodríguez

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I: INTRODUCCION

1.1. Selección y definición del tema del proyecto.....	1
1.1.1. Ubicación geográfica del proyecto de grado.....	1
1.1.2. Límites territoriales.....	3
1.2. Problema actual.....	3
1.2.1. Planteamiento del problema.....	4
1.2.2. Formulación del problema.....	5
1.2.3. Sistematización del problema.....	5
1.3. Objetivos del proyecto.....	5
1.3.1. Objetivo general.....	5
1.3.2. Objetivos específicos.....	5
1.4. Justificación del proyecto.....	6
1.4.1. Justificación académica.....	6
1.4.2. Justificación técnica.....	6
1.4.3. Justificación social.....	6
1.4.4. Justificación institucional.....	7
1.5. Marco de referencia.....	7
1.5.1 Marco teórico.....	7
1.5.2 Marco conceptual.....	10
1.5.3. Marco espacial.....	11
1.5.4. Marco temporal.....	12
1.6. Alcance.....	12

CAPÍTULO II: ASPECTOS SOCIALES Y FISICOS DEL PROYECTO

2.1. Características de la zona.....	13
2.1.1. Características climatológicas.....	13

2.1.2. Orográficas.....	14
2.1.3. Infraestructura.....	15
2.1.4. Extensión.....	15
2.2. Servicios básicos.....	15
2.3 Aspectos demográficos.....	16
2.3.1. Población del área de influencia del proyecto.....	16
2.3.2. Número y tamaño promedio de familias.....	17
2.4.Aspectos económicos.....	18
2.5. Acceso a la zona del proyecto.....	19

CAPÍTULO III: INGENIERÍA DEL PROYECTO

3.1. Parámetros de diseño.....	20
3.1.1 Índice de crecimiento poblacional.....	20
3.1.2 Periodo de diseño.....	20
3.2. Población del proyecto.....	21
3.2.1. Aplicación de los métodos.....	21
3.2.2. Población futura.....	22
3.3.Dotación de agua potable.....	24
3.3.1.Dotación actual.....	24
3.3.2. Dotación futura.....	25
3.4. Determinación de coeficientes.....	25
3.4.1 Coeficiente de retorno.....	25
3.4.2. Coeficiente de punta.....	25
3.4.3. Coeficientes por conexiones erradas.....	28
3.4.4. Coeficiente de infiltración.....	28
3.5. Caudales de diseño.....	29
3.5.1. Caudal medio diario.....	29
3.5.2. Caudal máximo diario.....	30
3.5.3. Caudal máximo horario.....	30

3.5.4. Caudal por conexiones erradas.....	30
3.5.5. Caudal por infiltración.....	31
3.5.6. Caudales de diseño final.....	31
3.5.7. Cálculo de longitudes.....	34
3.5.8. Cálculo de áreas de aporte.....	34
3.6. Propiedades hidráulicas de los conductos circulares.....	34
3.7. Ecuaciones para el diseño.....	36
3.7.1. Ecuaciones de Colebrook – White.....	36
3.7.2. Ecuación de Manning.....	37
3.7.3. Ecuación de continuidad.....	37
3.8. Criterios y verificaciones del diseño.....	38
3.8.1. Diámetro mínimo.....	38
3.8.2. Tensión tractiva.....	38
3.8.3. Pendiente mínima.....	40
3.8.4. Pendiente máxima admisible.....	41
3.8.5. Tirante máximo de agua.....	41
3.8.6. Velocidad crítica.....	41
3.9. Coeficiente de rugosidad.....	42
3.10. Disposiciones constructivas para el diseño.....	42
3.10.1. Profundidad mínima de instalación.....	42
3.10.2. Recubrimiento mínimo a la cota clave.....	43
3.10.3. Conexión de recargas domiciliarias.....	43
3.10.4. Profundidad máxima.....	43
3.10.5. Dimensiones del ancho de zanja.....	44
3.11. Determinación de las cotas de terreno.....	45
3.12. Ubicación de los colectores.....	45
3.13. Cámaras de inspección.....	45
3.13.1. Diámetro mínimo.....	45
3.13.2. Ubicación de las cámaras.....	45
3.13.3. Distancias máximas entre cámaras.....	46

3.13.4. Cámaras con caída.....	46
--------------------------------	----

CAPÍTULO IV: FUNDAMENTOS DEL AGUA RESIDUAL

4.1. Introducción.....	47
4.2. Composición de las aguas residuales.....	47
4.3. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual.....	50
4.3.1. Características físicas.....	50
4.3.1.1 Sólidos totales.....	51
4.3.1.2 Olores.....	51
4.3.1.3 Temperatura.....	51
4.3.1.4 Color.....	51
4.3.1.5 Turbiedad.....	52
4.3.2 Características químicas.....	52
4.3.2.1 Materia orgánica.....	52
4.3.2.1.1. Medición del contenido orgánico.....	53
4.3.2.2. Materia inorgánica.....	54
4.3.2.3. Gases presentes en el agua residual.....	54
4.3.3 Características biológicas.....	55
4.3.3.1 Microorganismos.....	55
4.3.3.2 Organismos patógenos.....	56
4.3.3.3 Organismos indicadores.....	56
4.4. Recuperación y reutilización de efluentes.....	57
4.5. Vertido de efluentes.....	58
4.6. Evaluación y reutilización de lodos.....	58

CAPÍTULO V: SITUACION ACTUAL DE SANEAMIENTO EN LA CIUDAD DE TARIJA

5.1. Introducción.....	59
5.2. Sistemas de alcantarillado en Tarija.....	59
5.3. Barrios que no cuentan con alcantarillado sanitario.....	60
5.4. Barrios cuyas aguas residuales llegan a las lagunas de San Luis.....	62
5.5. Situación de los barrios cuyas aguas residuales no son tratadas.....	63
5.6. Características de las aguas residuales en Tarija.....	65
5.7. Legislación para el tratamiento de aguas residuales.....	66

CAPÍTULO VI: SELECCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO

6.1. Aplicación de los procesos en el tratamiento de aguas residuales.....	68
6.1.1. Tratamiento preliminar.....	68
6.1.2. Tratamiento primario.....	69
6.1.3. Tratamiento secundario.....	69
6.1.4. Tratamiento terciario.....	71
6.2. Factores a considerar para la elección del tratamiento adecuado.....	72
6.2.1. Características climáticas de la zona donde se construirá el sistema.....	72
6.2.2. Topografía de la zona.....	72
6.2.3. Ubicación de cursos de agua, pozos y demás.....	72
6.2.4. Las características del afluente.....	72
6.2.5. El tamaño de las instalaciones de tratamiento.....	73
6.2.6. Caudal a tratar.....	73
6.2.7. Emisión de olores.....	73
6.2.8. Operación y mantenimiento.....	73
6.2.9. Costo.....	73
6.3. Planteamiento de las alternativas de solución al tratamiento de las aguas residuales.....	75

6.3.1.Grupo 1:alternativas que realizan un tratamiento preliminar y primario.....	79
6.3.2. Grupo 2: alternativa que realiza un tratamiento completo.....	79
6.3.1.1. Pozos sépticos.....	79
6.3.1.1.1. Construcción de la cámara séptica.....	83
6.3.1.1.2. Mantenimiento.....	87
6.3.1.1.3. Fallas en un pozo séptico.....	87
6.3.1.1.4. Ubicación del sistema: Recomendaciones generales.....	88
6.3.1.1.5. Desventajas.....	89
6.3.1.2. Baños ecológicos.....	90
6.3.1.2.1. Partes principales de un baño ecológico.....	91
6.3.1.2.2. Funcionamiento del baño ecológico.....	92
6.3.1.2.3. Tiempo de almacenamiento.....	93
6.3.1.2.4. Criterios de diseño.....	93
6.3.1.2.5. Cálculo del tiempo de llenado.....	94
6.3.1.2.6. Producción de orina.....	96
6.3.1.2.7. Aspectos Constructivos.....	96
6.3.1.2.8. Operación y mantenimiento.....	98
6.3.1.2.9.Ventajas y desventajas.....	99
6.3.2.1. Planta de tratamiento de aguas residuales.....	100
6.3.2.1.1. Descripción.....	100
6.4 Selección de la mejor alternativa de solución.....	110
6.5 Tratamiento seleccionado.....	118
6.5.1 Alternativas que realizan un tratamiento preliminar y primario.....	118
6.5.2 Alternativa con tratamiento completo.....	119
6.6.Tratamiento seleccionado - planta de tratamiento con reactor UASB.....	128

6.6.1. Mecanismo de la digestión anaerobia.....	128
6.6.2. Factores que influyen en el tratamiento anaerobio de aguas residuales.....	129
6.6.3. Tratamiento anaerobio.....	129
6.6.3.1. Ventajas de un tratamiento anaerobio.....	129
6.6.3.2. Ventajas y limitaciones de un tratamiento anaerobio.....	130
6.6.3.3. Comparación entre un tratamiento aerobio y un anaerobio.....	131
6.6.3.4. Procesos de alta tasa o modernos.....	131
6.6.3.5. Tiempos de retención para diferentes sistemas de tratamiento.....	133
6.6.3.6. Microbiología del reactor anaerobio UASB.....	134
6.6.3.7. Temperatura.....	134
6.6.3.8. PH, alcalinidad y ácidos volátiles.....	135
6.6.3.9. Eficiencia de tratamiento.....	136
6.7. Fundamentos teóricos para el diseño de la planta.....	138
6.7.1. Obtención de datos.....	138
6.7.2. Tratamiento preliminar.....	139
6.7.3. Sistema de distribución del afluente.....	143
6.7.4. Diseño del reactor.....	143
6.7.5. Diseño del separador Gas Sólido Líquido – GSL.....	145
6.7.6. Eficiencias del sistema.....	149
6.7.6.1. Eficiencia DQO.....	149
6.7.6.2. Eficiencia DBO.....	149
6.7.6.3. Eficiencia de Sólidos en suspensión (SS).....	150
6.7.7. Dispositivos de distribución del afluente y colecta del efluente.....	150
6.7.8. Dispositivos especiales.....	151
6.8. Productos secundarios.....	151
6.9. Opciones para la degradación del material orgánico.....	152
6.10. Construcción del reactor UASB y de la infraestructura auxiliar.....	152

6.11. Puesta en marcha de un reactor UASB.....	153
6.11.1. Arranque del reactor UASB.....	154
6.11.2. Puesta en marcha del reactor UASB.....	154
6.11.3. Inoculación del reactor UASB.....	154
6.12. Parámetros de evaluación de un reactor UASB.....	155
6.13. Biófiltró percolador.....	155
6.13.1. Dimensionamiento de biófiltró percolador.....	157
6.14. Clarificador o decantador secundario.....	157
6.15. Costo de operación y mantenimiento.....	157

CAPÍTULO VII

DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

7.1 Tratamientos preliminares.....	160
7.1.1 Dimensionamiento del canal de rejas de limpieza manual.....	160
7.1.2 Dimensionamiento del desarenador de flujo horizontal.....	163
7.1.3 Diseño del canal Parshall.....	166
7.1.4 Diseño del desgrasador.....	168
7.1.5 Diseño del canal principal y secundario de distribución.....	169
7.2 Tratamiento principal.....	169
7.2.1 Reactor UASB.....	169
7.3 Tratamiento secundario.....	178
7.3.1 Biófiltró percolador.....	178
7.3.2 Clarificador.....	180
7.3.3 Lecho de secado de lodos.....	181
7.4 Eficiencia de la planta de tratamiento.....	183
7.5. Diseño del tanque de almacenamiento de aguas tratadas.....	185

CAPÍTULO VIII DESINFECCIÓN

8.1. Introducción.....	186
8.2. Métodos de desinfección.....	188
8.3. Análisis de los factores que influyen en la acción de los desinfectantes.....	189
8.3.1. Tiempo de contacto.....	189
8.3.2. Tipo y concentración del agente químico.....	190
8.4. Desinfección con cloro.....	190
8.5. Reacciones del cloro en agua.....	191

CAPÍTULO IX: PRESUPUESTO

9.1. Actividades y/o ítems de obra.....	194
9.2. Cómputo métrico.....	194
9.3. Análisis de precios unitarios.....	194
9.3.1 Definición.....	193
9.4. Materiales.....	195
9.5. Mano de obra.....	195
9.6. Cargas sociales.....	197
9.7. Herramientas y equipo menor.....	197
9.8. Gastos generales.....	196
9.9. Utilidad.....	196
9.10. Impuestos.....	196
9.11. Presupuesto general.....	196

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Coordenadas del barrio 27 de Mayo.....	2
Tabla 2.1. Cobertura y medios para la eliminación de excretas.....	16
Tabla 2.2. Población Por Sexo del Área de Influencia del Proyecto.....	17
Tabla 2.3. Número y Tamaño Promedio de Familias.....	18
Tabla 2.4. Ocupaciones económicas.....	18
Tabla 3.1. Periodos de diseño.....	21
Tabla 3.2. Aplicación de los métodos.....	22
Tabla 3.3. Métodos para la determinación de la población futura.....	22
Tabla 3.4. Resultados población futura.....	23
Tabla 3.5. Dotación media diaria (l/hab-d).....	24
Tabla 3.6. Valores del Coeficiente K2.....	27
Tabla 3.7. Valores del Coeficiente Pöpel.....	28
Tabla 3.8. Coeficientes de infiltración l/s/m.....	29
Tabla 3.9. Valores de las rugosidades de las tuberías.....	37
Tabla 3.10. Pendientes mínima – criterio de la tensión tractiva.....	40
Tabla 3.11. Profundidad mínima de colectores.....	43
Tabla 3.12. Dimensiones recomendables de zanja.....	44
Tabla 4.1. Composición típica del ARD.....	48
Tabla 5.1. Coberturas de saneamiento Tarija.....	60
Tabla 5.2. Ubicación de las cámaras sépticas.....	64
Tabla 5.3. Destino de los efluentes en la ciudad de Tarija.....	65
Tabla 5.4. Valores típicos de aguas residuales municipales.....	65
Tabla 5.5. Valores medios de las concentraciones del efluente-Tarija.....	66
Tabla 6.1. Criterios importantes para la selección de tratamientos de aguas residuales.....	74
Tabla 6.2. Factores claves para la selección de tecnología en tratamiento de aguas residuales en países desarrollados y en desarrollo.....	75

Tabla 6.3. Tamaño de la cámara séptica.....	83
Tabla 6.4. Recomendaciones para el almacenamiento de heces deshidratadas y lodos fecales antes de su uso a nivel familiar o municipal.....	94
Tabla 6.5. Producción de heces y orina.....	95
Tabla 6.6. Tiempo de almacenamiento/llenado en la cámara del Baño Ecológico.....	95
Tabla 6.7. Características físicas del baño ecológico de doble cámara.....	96
Tabla 6.8. Costos directos referenciales (Bs).....	98
Tabla 6.9. Ventajas y desventajas.....	99
Tabla 6.10. Comparaciones de las alternativas de tratamiento analizadas.....	100
Tabla 6.11. Ventajas y desventajas.....	110
Tabla 6.12. Beneficios y limitaciones del tratamiento anaerobio.....	111
Tabla 6.13. Tratamiento aerobio versus tratamiento anaerobio.....	113
Tabla 6.14. Valores aproximados de carga orgánica volumétrica en relación a la temp.....	114
Tabla 6.15. Dimensiones básicas de ejemplos de reactores UASB para eficiencias de remoción de DQO mayor a 80% y de DBO mayor a 85%.....	130
Tabla 6.16. Eficiencia de remoción de reactor UASB.....	131
Tabla 6.17. Aspectos importantes de diferentes sistemas de trat. de agua residual..	133
Tabla 6.18. Velocidades de flujo (v).....	136
Tabla 6.19. Dimensiones típicas de medidores parshall.....	137
Tabla 6.20. Principales objetivos del separador GSL tratando ARD.....	137
Tabla 6.21. Resumen de guías para el diseño del dispositivo separador GSL.....	140
Tabla 6.22. Guías para det. el número de puntos de alimentación en un reactor	142
Tabla 6.23. Eficiencias de la planta de tratamiento compacta.....	147
Tabla 6.24. Resumen de guías para el diseño del dispositivo GSL.....	148
Tabla 6.25. Guía para det. Los puntos de alimentación de un reactor UASB.....	151
Tabla 6.26. Tabla de gastos generados en la operación y mantenimiento de la planta.....	158
Tabla 6.27. Eficiencias de la planta de tratamiento compacta.....	159
Tabla 7.1. Diámetros de arena a remover.....	164

Tabla 7.2. Dimensiones del canal parshall.....	167
Tabla 7.3. Eficiencia de remoción del efluente.....	178
Tabla 7.4. Eficiencias del sistema.....	183
Tabla 7.5. Tratamiento de coliformes totales.....	183
Tabla 7.6. Eficiencia del clarificador.....	183
Tabla 7.7. Directrices de la OMS sobre la calidad parasitológica y microbiológica del agua residual para el uso en agricultura.....	184
Tabla 7.8. Aguas tratadas para el reúso agrícola.....	184
Tabla 7.9. Recomendaciones para riego de campos deportivos y de zonas verdes con acceso público.....	185
Tabla 8.1. Microorganismos comúnmente encontrados en el agua residual municipal y sus correspondientes enfermedades.....	187
Tabla 8.2. Métodos de desinfección.....	188
Tabla 8.3. Tabla comparativa.....	188
Tabla. 8.4. Cuadro de medidas estándar para dosificadores por gravedad de orificio descarga constante (medidas en mm).....	193
Tabla 9.1. Presupuesto General.....	197

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Mapa de Tarija.....	1
Figura 1.2. Mapa Cercado.....	1
Figura 1.3. Coordenadas de ubicación Barrio “27 de Mayo”.....	2
Figura 1.4.Coordenadas de ubicación del Barrio 27 de Mayo.....	3
Figura 2.1. Ubicación del barrio 27 de Mayo.....	13
Figura 2.2. Zona beneficiada.....	14
Figura 2.3. Población por sexo.....	17
Figura 2.4. Ocupaciones económicas.....	19
Figura 3.1. Relaciones geométricas de la sección circular parcialmente Llena.....	38
Figura. 4.1. Composición media de las ARD.....	48
Figura 5.1. Coberturas de saneamiento Tarija.....	60
Figura 6.1. Imagen distancia entre colector más próximo y el barrio 27 de Mayo.....	76
Figura 6.2. Sistema de colectores de agua residual para la ciudad de Tarija.....	78
Figura 6.3.Tres etapas de depuración.....	80
Figura 6.4.Vista en perfil de la cámara séptica.....	81
Figura 6.5. Terreno de infiltración.....	82
Figura 6.6. Construyendo la cámara séptica.....	85
Figura 6.7. Ubicación de las tuberías de infiltración.....	85
Figura 6.8. Construcción del terreno de infiltración.....	87
Figura 6.9. Ubicación de cada una de las partes del sistema.....	90
Figura. 6.10. Opciones del desvío de orina.....	97
Figura 6.11. Planta de tratamiento.....	100
Figura 6.12.Características fundamentales de un tratamiento anaerobio.....	101
Figura 6.13. Reactor UAB.....	101
Figura. 6.14. Biofiltro Percolador.....	102
Figura. 6.15. Clarificador.....	102
Figura.6.16.Lecho de secado de lodos.....	103
Figura. 6.17. Vista perfil planta de tratamiento.....	103

Figura. 6.18. Esquema de un reactor UASB con sus principales dispositivos.....	106
Figura.6.19. Componentes planta de tratamiento.....	109
Figura 6.20. Sistemas anaerobios de alta tasa para el tratamiento de aguas residuales.....	132
Figura 6.21. Eficiencias de remoción y TRH para diferentes sistemas de tratamiento.....	133
Figura 6.22. Rejilla mecánica.....	139
Figura 6.23.Desarenador (planta y corte longitudinal).....	140
Figura 6.24. Ejemplos de separadores GSL para reactores UASB.....	147
Figura 6.25. Separador GSL.....	149
Figura 6.26. Separador GS.....	149
Figura 6.27. Esquema de la planta de tratamiento compacta.....	158
Figura 7.1 Sección transversal del canal de rejillas.....	161
Figura 7.2. Dimensiones del canal parshall.....	167
Figura 7.3. Separadores GLS.....	178
Figura 8.1. Imagen dosificador a gravedad.....	192

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A – Tablas y ábacos

ANEXO B – Informe de levantamiento topográfico

ANEXO C – Estudio de suelos

ANEXO D – Población actual. Gobernación

ANEXO E – Diseño hidráulico de la red de alcantarillado

ANEXO F – Calidad del agua residual

ANEXO G – Cómputos métricos

ANEXO H – Ficha ambiental

ANEXO I – Planos

