

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA “INGENIERÍA CIVIL”**

**DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OO. SS.**



**TOMO I**

**“DISEÑO SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLANTA  
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA COMUNIDAD  
DE TOLOMOSITA SUD, COMPLEJO TURÍSTICO DEL PROYECTO  
MÚLTIPLE SAN JACINTO”**

**Por:**

**UNIV. VACA MIRANDA RODRIGO DANIEL**

**SEMESTRE 1 - 2019**

**TARIJA – BOLIVIA**

Este proyecto está dedicado a mi madre, mujer luchadora que me apoyó en mis peores momentos y supo darme el ejemplo de la perseverancia constante al trabajo de todos los días, y las posibilidades de estudiar

## ÍNDICE DEL CONTENIDO

|  |          |
|--|----------|
| <b>CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....</b>                      | <b>1</b> |
| <b>1.1.- Antecedentes .....</b>                          | <b>1</b> |
| <b>1.2.- Identificación del problema.....</b>            | <b>1</b> |
| <b>1.3.- Justificación del proyecto .....</b>            | <b>2</b> |
| 1.3.1.- Justificación social .....                       | 2        |
| 1.3.2.- Justificación técnica .....                      | 2        |
| 1.3.3.- Justificación académica.....                     | 3        |
| <b>1.4.- Objetivos del proyecto .....</b>                | <b>3</b> |
| 1.4.1.- Objetivo general .....                           | 3        |
| 1.4.2.- Objetivos específicos .....                      | 3        |
| <b>1.5.- Ubicación espacial .....</b>                    | <b>4</b> |
| <b>1.6.- Ubicación temporal .....</b>                    | <b>4</b> |
| <b>CAPÍTULO 2 MARCO REFERENCIAL .....</b>                | <b>5</b> |
| <b>2.1.- Marco teórico.....</b>                          | <b>5</b> |
| 2.1.1.- Hidráulica de canales .....                      | 5        |
| 2.1.2.- Aspectos hidráulicos de los alcantarillados..... | 5        |
| 2.1.3.- Profundidades de excavaciones.....               | 8        |
| 2.1.4.- Diámetro de los colectores .....                 | 8        |
| 2.1.5.- Velocidad de los colectores.....                 | 9        |
| 2.1.6.- Tensión tractiva de los colectores .....         | 9        |
| 2.1.7.- Cámaras de inspección .....                      | 10       |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>2.2.- Tratamiento de aguas residuales .....</b>                                     | <b>14</b> |
| 2.2.1.- Fundamentos del tratamiento de agua residual .....                             | 14        |
| 2.2.2.- Procesos y operaciones unitarias del tratamiento de aguas residuales....       | 14        |
| 2.2.3.- Aplicación de los procesos en el tratamiento de aguas residuales .....         | 15        |
| 2.2.4.- Tratamiento preliminar.....  | 16        |
| 2.2.5.- Diseño del canal de rejillas de limpieza manual .....                          | 21        |
| 2.2.6.- Desarenador.....   | 25        |
| <b>2.3.- Tratamiento primario reactor UASB-RAFA .....</b>                              | <b>31</b> |
| <b>2.4.- Tratamiento secundario humedales artificiales .....</b>                       | <b>52</b> |
| <b>2.5.- Marco normativo.....</b>  | <b>69</b> |
| <b>2.6.- Marco conceptual .....</b>  | <b>74</b> |
| 2.6.1.- Agua Residual .....  | 74        |
| 2.6.2.- Características físicas: Definición.....                                       | 74        |
| 2.6.3.- Características químicas, Definición.....                                      | 75        |
| 2.6.4.- Materia inorgánica .....   | 76        |
| 2.6.5.- Características biológicas: Definición.....                                    | 76        |
| <b>CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE PROCESOS Y SELECCIÓN DEL PROCESO<br/>DE TRATAMIENTO.....</b> | <b>79</b> |
| <b>3.1.- Introducción.....</b>   | <b>79</b> |
| <b>3.2.- Proceso de tratamiento .....</b>  | <b>79</b> |
| 3.2.1.- Tanque de sedimentación Imhoff.....  | 81        |
| 3.2.2.- Fundamentos del diseño.....  | 82        |
| 3.2.3.- Tratamiento biológico.....   | 82        |
| 3.2.4.- Procesos aerobios y anaerobios.....  | 82        |
| 3.2.5.- Microbiología del proceso aerobio.....   | 85        |
| 3.2.6.- Microbiología del proceso anaerobio.....                                       | 85        |

|   |   |            |
|---|---|------------|
| 3.2.7.-   | Procesos unitarios del tratamiento biológico .....                            | 86         |
| 3.2.8.-   | Sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales .....                  | 86         |
| 3.2.9.-   | Sistemas biológicos no convencionales .....                                   | 88         |
| 3.2.10.-  | Sistemas de tratamiento del tipo convencional .....                           | 90         |
| 3.2.11.-  | Biofiltros o filtros percoladores .....                                       | 92         |
| 3.2.12.-  | Lodos activados.....  | 94         |
| 3.2.13.-  | Sistemas innovadores.....   | 98         |
| 3.2.14.-  | Biorreactor de membrana (MBR) .....   | 98         |
| 3.2.15.-  | Sistemas biológicos para remoción de nutrientes .....                         | 100        |
| 3.2.16.-  | Lagunas de oxidación.....   | 102        |
| 3.2.17.-  | Lodos activados.....  | 103        |
| <b>CAPÍTULO 4 SITUACIÓN ACTUAL DEL PROYECTO .....</b> |   | <b>106</b> |
| <b>4.1.-</b>  | <b>Ubicación del Proyecto .....</b>   | <b>106</b> |
| 4.1.1.-   | Localización y descripción del área del proyecto .....                        | 106        |
| 4.1.2.-   | Descripción del relieve de la zona .....                                      | 107        |
| 4.1.3.-   | Aspectos climáticos.....  | 107        |
| <b>4.2.-</b>  | <b>Aspectos socioeconómicos de la comunidad .....</b>                         | <b>108</b> |
| 4.2.1.-   | Características socio culturales .....  | 108        |
| 4.2.2.-   | Otros servicios.....  | 111        |
| <b>4.3.-</b>  | <b>Situación actual del agua potable .....</b>                                | <b>113</b> |
| <b>4.4.-</b>  | <b>Alternativas al tema del abastecimiento de agua en Tolomosita Sud ....</b> | <b>115</b> |
| 4.4.1.-   | Alternativa N° 1.- .....  | 115        |
| 4.4.2.-   | Alternativa N° 2.- .....  | 116        |
| 4.4.3.-   | Selección de alternativa óptima .....   | 116        |
| 4.4.4.-   | Comité de agua.....   | 117        |
| 4.4.5.-   | La calidad del agua que toman.....  | 117        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>CAPÍTULO 5 PROPUESTA DEL PROYECTO</b> .....  | <b>118</b> |
| <b>5.1.- Topografía del lugar de emplazamiento</b> .....                                    | <b>118</b> |
| 5.1.1.- Gestión para la información básica .....  | 118        |
| 5.1.2.- Cálculos de gabinete .....  | 119        |
| <b>5.2.- Parámetros de diseño</b> .....   | <b>120</b> |
| 5.2.1.- Cálculo de la población actual del proyecto .....                                   | 120        |
| 5.2.2.- Cálculo de la población futura .....  | 121        |
| 5.2.3.- Cálculo de la población futura de la Zona 1. ....                                   | 124        |
| 5.2.4.- Población futura por saturación de expansión, Zona 2 .....                          | 125        |
| 5.2.5.- Cálculo de la población total.....  | 126        |
| 5.2.6.- Cálculo de la población flotante.....   | 126        |
| 5.2.7.- Cálculo de la población flotante actual .....                                       | 127        |
| 5.2.8.- Dotación de consumo humano.....   | 128        |
| 5.2.9.- Coeficientes de variación de consumos máximo diario y máximo horario .....          | 129        |
| 5.2.10.- Caudal de diseño .....   | 131        |
| 5.2.11.- Cálculo del caudal de infiltración .....   | 133        |
| 5.2.12.- Caudal de diseño .....   | 133        |
| 5.2.13.- Cálculo del caudal medio diario.....   | 135        |
| 5.2.14.- Cálculo de los caudales puntuales para cada cabaña, restaurantes, y comercio ..... | 136        |
| 5.2.15.- Caracterización del agua residual.....   | 138        |
| <b>5.3.- Análisis de alternativas</b> .....   | <b>140</b> |
| 5.3.1.- Sistema con bombeo .....  | 140        |
| 5.3.2.- Sistema por gravedad .....  | 141        |

|              |  |            |
|--------------|--|------------|
| <b>5.4.-</b> | <b>Diseño de ingeniería .....</b>  | <b>142</b> |
| 5.4.1.-      | Red de distribución .....  | 142        |
| 5.4.2.-      | Conducción de la línea de aducción por roca a la intemperie.....                                 | 143        |
| 5.4.3.-      | Tubería del sistema de alcantarillado.....   | 145        |
| <b>5.5.-</b> | <b>Planta de tratamiento .....</b>   | <b>147</b> |
| 5.5.1.-      | Tratamiento preliminar.....  | 147        |
| 5.5.2.-      | Dimensionamiento del canal de rejillas de limpieza manual .....                                  | 147        |
| 5.5.3.-      | Diseño de la cámara desarenadora .....   | 160        |
| 5.5.4.-      | Diseño del desgrasador .....   | 165        |
| 5.5.5.-      | Diseño del canal parshall .....  | 168        |
| <b>5.6.-</b> | <b>Tratamiento principal reactor RAFA-UASB .....</b>   | <b>171</b> |
| 5.6.1.-      | Calcular la carga de DQO en el afluente promedio ( $L_0$ ) .....                                 | 172        |
| 5.6.2.-      | Adoptar un valor del tiempo de residencia hidráulica ( $t$ ):.....                               | 172        |
| 5.6.3.-      | Determinar el volumen total del reactor ( $V$ ):.....  | 173        |
| 5.6.4.-      | Establecer el número de módulos del reactor ( $N$ ):.....  | 173        |
| 5.6.5.-      | Volumen de cada módulo ( $V_u$ ):.....   | 173        |
| 5.6.6.-      | Establecer un valor para la altura del reactor ( $H$ ): .....                                    | 173        |
| 5.6.7.-      | Determinar el área de cada módulo ( $A$ ):.....  | 174        |
| 5.6.8.-      | Verificación del área, volumen y tiempo de residencia hidráulica: .....                          | 174        |
| 5.6.9.-      | Volumen total correcto:.....   | 174        |
| 5.6.10.-     | Tiempo de residencia hidráulica corregido: .....   | 175        |
| 5.6.11.-     | Verificación de las cargas aplicadas: .....  | 175        |
| 5.6.12.-     | Carga orgánica volumétrica ( $COV$ ):.....   | 175        |
| 5.6.13.-     | Verificación de las velocidades del flujo ascendente:.....                                       | 176        |
| 5.6.14.-     | Sistemas de distribución del agua residual (afluente):.....                                      | 176        |
| 5.6.15.-     | Estimación de las eficiencias de remoción de la DQO del sistema .....                            | 177        |
| 5.6.16.-     | Estimación de las eficiencias de remoción de la DBO del sistema,<br>utilizando la Ecuación ..... | 177        |

|  |            |
|--|------------|
| 5.6.17.- Estimación de las concentraciones de DQO y DBO en el efluente final: ...    | 178        |
| 5.6.18.- Producción teórica del metano: .....  | 178        |
| 5.6.19.- Producción del biogás: .....  | 179        |
| 5.6.20.- Dimensionamiento del colector del gas: .....                                | 180        |
| 5.6.21.- Dimensionamiento de las aberturas del compartimento del sedimentador. ....  | 181        |
| 5.6.22.- Dimensionamiento del compartimento del sedimentador .....                   | 182        |
| 5.6.23.- Verificación de las tasas de carga de superficie del sedimentador (ys):     | 183        |
| 5.6.24.- Producción de lodo.....   | 184        |
| <b>5.7.- Lecho de secado de lodos .....</b>  | <b>184</b> |
| <b>5.8.- Tratamiento secundario humedal artificial de flujo subsuperficiales....</b> | <b>186</b> |
| 5.8.1.- Asumimos una temperatura del agua, del diseño en el humedal SFS...           | 187        |
| 5.8.2.- Determinación del área superficial requerida para el humedal SFS bajo ...    | 187        |
| 5.8.3.- Cálculo de la temperatura promedio del agua.....                             | 188        |
| 5.8.4.- Cálculo del área de las celdas.....  | 190        |
| 5.8.5.- Remisión de los sólidos suspendidos .....                                    | 192        |
| 5.8.6.- Determinación del área requerida para la nitrificación en el humedal SFS     | 193        |
| 5.8.7.- Determinación del nitrógeno total en el efluente del humedal. ....           | 195        |
| 5.8.8.- Determinación de la concentración de fósforo en el efluente .....            | 197        |
| 5.8.9.- Conexiones domiciliarias .....   | 197        |



|   |            |
|---|------------|
| <b>5.9.- Ficha ambiental .....</b>  | <b>197</b> |
| 5.9.1.- Etapas del proceso.....   | 198        |
| 5.9.2.- Métodos simples de identificación de impacto .....  | 200        |
| 5.9.3.- Metodologías de matrices interactivas .....   | 200        |
| 5.9.4.- Descripción general de impactos y asignación de pesos específicos según actividades básicas. ....   | 202        |
| 5.9.5.- Situación ambiental y de riesgos de desastres actual, así como adaptación al cambio climático ..... | 203        |
| <b>CAPÍTULO 6 DESINFECCIÓN .....</b>  | <b>205</b> |
| <b>6.1.- Introducción.....</b>  | <b>205</b> |
| <b>6.2.- Análisis de los factores que influyen en la acción de los desinfectantes .</b>                     | <b>207</b> |
| 6.2.1.- Tiempo de contacto.....   | 207        |
| <b>6.3.- Tipo y concentración del agente químico.....</b>   | <b>208</b> |
| <b>6.4.- Desinfección con cloro.....</b>  | <b>209</b> |
| 6.4.1.- Aplicabilidad.....  | 209        |
| 6.4.2.- Ventajas y desventajas .....  | 210        |
| <b>6.5.- Reacciones del cloro en agua .....</b>   | <b>211</b> |
| 6.5.1.- Determinación de la concentración y tiempo de contacto del cloro .....                              | 212        |
| <b>6.6.- Desinfección mediante hipoclorador de goteo .....</b>  | <b>216</b> |
| 6.6.1.- Criterios de diseño: .....  | 218        |
| 6.6.2.- Dosificación de cloro .....   | 218        |
| 6.6.3.- Aspectos constructivos.....   | 220        |
| 6.6.4.- Operación y mantenimiento .....   | 221        |
| 6.6.5.- Ventajas y Desventajas .....  | 222        |
| 6.6.6.- Diseño del tanque hipoclorador .....  | 222        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>CAPÍTULO 7 COSTOS Y PRESUPUESTOS .....</b>         | <b>226</b> |
| <b>7.1.- Cómputos métricos.....</b>                   | <b>226</b> |
| <b>7.2.- Análisis de precios unitarios.....</b>       | <b>226</b> |
| <b>7.3.- Presupuesto de obra .....</b>                | <b>232</b> |
| <b>CAPÍTULO 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b> | <b>233</b> |
| <b>8.1.- Conclusiones .....</b>                       | <b>233</b> |
| <b>8.2.- Recomendaciones .....</b>                    | <b>238</b> |
| <b>8.3.- Bibliografía .....</b>                       | <b>240</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1.1 Zona de estudio.....   | 4  |
| Figura 2.1 Radio hidráulico, perímetro mojado, diámetro de tubo.....  | 6  |
| Figura 2.2 Empate de los colectores por la cota de clave .....  | 12 |
| Figura 2.3 Empate de los colectores por línea de energía.....   | 13 |
| Figura 2.4 Disposición de las rejillas. ....  | 20 |
| Figura 2.5 Sección transversal del canal de rejillas .....  | 22 |
| Figura 2.6 Esquema de rejillas de limpieza manual.....  | 23 |
| Figura 2.7 Información típica para el diseño .....  | 24 |
| Figura 2.8 Desarenador de dos unidades en paralelo (vista en planta).....   | 26 |
| Figura 2.9: Esquema de un desarenador .....   | 28 |
| Figura 2.10 Dibujo esquemático de un reactor anaerobio de flujo ascendente.....   | 32 |
| Figura 2.11 Configuraciones de los diferentes tipos de RAFA: a) proceso original del RAFA, b) RAFA con tanque de sedimentación y recirculación de lodo..... | 33 |
| Figura 2.12 Esquema de un reactor anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales.....  | 34 |
| Figura 2.13 Procesos de conversión en la digestión anaerobia (Gujer & Zehnder. 1983).....   | 35 |
| Figura 2.14 Ejemplos de extremos de tubos de distribución .....   | 43 |
| Figura 2.15 Una alternativa de diseño de separación gas-líquido-sólido.....   | 46 |
| Figura 2.16 Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA).....   | 50 |
| Figura 2.17 Diagrama del sistema de gas en un RAFA .....  | 51 |
| figura 2.18 Plantas acuáticas comunes.....  | 52 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 2.19 Esquema típico de planta emergente .....                                | 54  |
| Figura 2.20 Scirpus .....   | 55  |
| Figura 2.21 Tipos de humedales construidos, para tratamiento de aguas residuales .. | 56  |
| Figura 2.22 Sección transversal de un sistema de flujo subsuperficiales .....       | 56  |
| Figura 2.23 Phragmites .....  | 57  |
| Figura 2.24 Estructura de salida con control de nivel .....                         | 60  |
| Figura 3.1 Proceso aeróbico .....   | 83  |
| Figura 3.2 Proceso anaeróbico .....   | 83  |
| Figura 3.3 Proceso aerobio .....  | 84  |
| Figura 3.4 Proceso anaeróbico .....   | 84  |
| Figura 3.5 Sistema convencional de tratamiento mediante lodos activados .....       | 95  |
| Figura 3.6 Sistema MBR con membranas sumergidas .....                               | 98  |
| Figura 4.1 Ubicación geográfica del lugar del proyecto .....                        | 106 |
| Figura 5.1 Esquema de una red de alcantarillado con bombeo .....                    | 141 |
| Figura 5.2 Tubería abrazada .....   | 144 |
| Figura 5.3 Perfil longitudinal y en planta de la aducción .....                     | 145 |
| Figura 5.4 Desarenador .....  | 147 |
| Figura 5.5 Datos para el diseño de canal de rejillas .....                          | 149 |
| Figura 5.6 Cámaras de rejillas .....  | 149 |
| Figura 5.7 Cálculo en el hcanales .....   | 151 |
| Figura 5.8 Dimensiones transicional .....   | 156 |
| Figura 5.9 Cámara de rejillas: (Planta, Cortes longitudinal y transversal .....     | 159 |
| Figura 5.10 Desarenador. ....   | 160 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 5.11 Desgrasador en planta de tratamiento.....  | 165 |
| Figura 5.12 Parshall .....   | 169 |
| Figura 6.1 Desviaciones típicas de los microorganismos con respecto a la ley Chick-Watson..... | 208 |
| Figura 6.2 Porcentajes de HOCL y OCl- con respecto a su PH.....                                | 212 |
| Figura 6.3 Concentración de cloro por tiempo.....  | 213 |
| Figura 6.4 Dosificador de goteo de carga constante con tubo flotante .....                     | 217 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|  |     |
|--|-----|
| Cuadro 1.1 Población actual año 2018.....  | 25  |
| Cuadro 2.1 Organismos encargados de la gestión y política ambiental.....             | 72  |
| Cuadro 4.1 Costumbres y calendario festivo .....                                     | 109 |
| Cuadro 4.2 Nivel de educación.....   | 110 |
| Cuadro 4.3 Materiales predominantes en las viviendas.....                            | 111 |
| Cuadro 4.4 Porcentaje de procedencia del agua.....                                   | 114 |
| Cuadro 5.1 BM inicial.....   | 118 |
| Cuadro 5.2 Población actual año 2018.....  | 120 |
| Cuadro 5.3 Número y tamaño promedio de familias.....                                 | 120 |
| Cuadro 5.4 Población beneficiada.....  | 122 |
| Cuadro 5.5 Comunidad de Tolomosita Sud divide en dos zonas.....                      | 123 |
| Cuadro 5.6 Datos iniciales de la zona 1 .....  | 124 |
| Cuadro 5.7 Datos iniciales de la zona 2 .....  | 125 |
| Cuadro 5.8 Datos iniciales para el cálculo Df.....                                   | 128 |
| Cuadro 5.9 Resultados del caudal de diseño.....                                      | 134 |
| Cuadro 5.10 Parámetros de diseño para la red de distribución de los colectores ..... | 142 |
| Cuadro 5.11 Características de la topografía de la red de alcantarillado .....       | 143 |
| Cuadro 5.12 Resultado del canal de rejas .....                                       | 158 |
| Cuadro 5.13 Resultados de un desgrasador.....  | 168 |
| Cuadro 5.14 Para un ancho de garganta $w=6''$ .....                                  | 169 |
| Cuadro 5.15 Resultado de un canal Parshall.....                                      | 170 |
| Cuadro 7.1 Costo total del proyecto.....   | 232 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 2.1 Pérdida de energía por cambio de dirección .....  | 13 |
| Tabla 2.2 Factores importantes de las operaciones y procesos unitarios .....  | 16 |
| Tabla 2.3 Información típica para el diseño Metcalf y Eddy .....  | 18 |
| Tabla 2.4 Espesores y espaciamiento de rejillas .....   | 20 |
| Tabla 2.5 Clasificación y tamaño de barras .....  | 21 |
| Tabla 2.6: Dimensiones típicas de medidores Parshall .....  | 30 |
| Tabla 2.7 Tiempo de residencia hidráulica recomendados para un RAFA de una altura de 4 metros para el tratamiento de aguas residuales domésticas .....        | 39 |
| Tabla 2.8 Velocidades de flujo ascendente recomendados para el diseño de reactores anaerobios de flujo ascendente que tratan aguas residuales domésticas..... | 41 |
| Tabla 2.9 Directrices para determinar el área de influencia de los distribuidores de flujo en un RAFA. ....   | 44 |
| Tabla 2.10 Resumen de los principales criterios hidráulicos para el diseño de reactores RAFA que tratan agua residual doméstica.....                          | 44 |
| Tabla 2.11 Tasas de carga de superficie, tiempos de residencia hidráulica y velocidades en la abertura en el compartimiento de la sedimentación .....         | 47 |
| Tabla 2.12 Recubrimientos de concreto.....  | 48 |
| Tabla 2.13 Criterios hidráulicos para el diseño de reactores RAFA.....  | 51 |
| Tabla 2.14 Propiedades físicas del agua. ....   | 65 |
| Tabla 2.15 Características típicas de los medios para humedales SFS.....  | 66 |
| Tabla 2.16 Conductividad térmica de los componentes de un humedal SFS .....   | 68 |
| Tabla 2.17 Clasifican los cuerpos de agua en grupos .....   | 70 |
| Tabla 2.18 Clasificación de los cuerpos de agua según su aptitud de uso .....   | 73 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 3.1 Factores por considerar en la selección y evaluación de las operaciones y procesos unitarios.....      | 80  |
| Tabla 3.2 Proceso biológico de tratamiento de aguas residuales.....  | 87  |
| Tabla 3.3 Eficiencias de remoción de lagunas de estabilización .....   | 88  |
| Tabla 3.4 Eficiencia de remoción del sistema de humedales.....   | 90  |
| Tabla 3.5 Eficiencia lagunas aireadas aerobias.....  | 91  |
| Tabla 3.6 Eficiencia lagunas aireadas facultativas.....  | 92  |
| Tabla 3.7 Eficacia de remoción de biofiltros .....   | 93  |
| Tabla 3.8 Eficiencia de remoción lodos activados.....  | 95  |
| Tabla 3.9 Eficiencia de remoción de reactor UASB .....   | 97  |
| Tabla 3.10 Eficiencia de remoción del sistema MBR.....   | 99  |
| Tabla 3.11 Análisis comparativo de los procesos comúnmente utilizados en el tratamiento de aguas residuales..... | 101 |
| Tabla 3.12 Selección de la opción tecnológica más apropiada para Tarija .....                                    | 105 |
| Tabla 5.1 Dotación de conexiones domiciliarias .....   | 128 |
| Tabla 5.2 Valor del Coeficiente $k_2$ .....  | 131 |
| Tabla 5.3 Coeficientes de infiltración en tuberías - $Q_{inf}$ (L/s/m).....                                      | 133 |
| Tabla 5.4 Comparación de parámetros de diseño .....  | 138 |
| Tabla 5.5 Parámetros de diseño asumidos para el diseño de la planta de tratamiento .....                         | 139 |
| Tabla 5.6 Criterios de diseño .....  | 148 |
| Tabla 5.7 Valores más comunes que adopta el coeficiente ( $\beta$ ).....   | 157 |
| Tabla 5.8 Criterios de diseño de desarenadores .....   | 160 |
| Tabla 5.9 Parámetros iniciales para el diseño del desarenador.....   | 161 |



|  |     |
|--|-----|
| Tabla 5.10 Resultados de un desarenador .....  | 165 |
| Tabla 5.11 Resumen de los principales criterios hidráulicos para el diseño de reactores .....      | 172 |
| Tabla 5.12 Directrices para determinar el área de influencia de los distribuidores de flujo .....  | 177 |
| Tabla 5.13 Datos iniciales para un humedal artificial .....  | 188 |
| Tabla 5.14 Resultado del impacto ambiental .....   | 202 |
| Tabla 6.1 Microorganismos en las aguas residuales domésticas .....                                 | 205 |
| Tabla 6.2 Comparación de los métodos .....   | 206 |
| Tabla 6.3 Cálculo del goteo y preparación de la solución madre (para una duración de 7 días) ..... | 219 |
| Tabla 6.4 Actividades principales de operación y mantenimiento .....                               | 221 |
| Tabla 6.5 Comparación .....  | 222 |
| Tabla 8.1 Comparación de parámetros.....   | 235 |