

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



**“ESTUDIO, DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL
ESTABLECIMIENTO DEPURADOR DE LÍQUIDOS
CLOACALES DE LA CIUDAD DE TARIJA”**

Por.

ADRIAN CASTILLO VERGARA.

Trabajo Dirigido, presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Marzo del 2008
TARIJA-BOLIVIA

V°B°

.....
MSc.Lic. Efraín Torrejón Tejerina.

**DECANO
FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGÍA**

.....
Msc.Ing Marlene Simons Sánchez

**VICE DECANA
FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGÍA**

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

.....
Ing Adel Cortez Maire

.....
Ing Ivar Colodro Mendivil

.....
Ing Alberto Calderón Orellana

El Tribunal Calificador del presente Trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el trabajo, siendo las mismas únicamente responsabilidad del Autor.

AGRADECIMIENTO:

A Dios sobre todas las cosas, a mis padres por todo el apoyo que siempre me dan, y a los que fueron partícipes del proyecto, en especial al Gerente del Proyecto “Ing Daniel García” por todo el apoyo humano y técnico que dio.

RESUMEN

El presente trabajo comprende el estudio, diseño y dimensionamiento de un nuevo establecimiento depurador de líquidos cloacales o aguas residuales para la ciudad de Tarija, que forma parte del proyecto “Saneamiento del Río Guadalquivir”, realizado en el INIBREH.

La razón fundamental de la elaboración de dicho estudio se debe a la necesidad de implementar un establecimiento depurador de líquidos cloacales en la Ciudad de Tarija ya que el establecimiento existente de depuración (Lagunas Seriadas o más conocido como Lagunas de Oxidación) se encuentra sobresaturado y ya no es capaz de operar ni depurar en forma adecuada los caudales efluentes actuales de la ciudad y peor aun los de un futuro inmediato. Es de tener en cuenta que no todos los líquidos efluentes de la ciudad llegan al establecimiento actual, siendo estos vertidos en cámaras sépticas y luego descargados en afluentes del Río Guadalquivir y en el mismo Río.

Por lo anteriormente mencionado, en la actualidad se está polucionando los afluentes del río Guadalquivir y el mismo río, teniendo inminentes focos de infección que pueden ocasionar perjuicios en la salud de los ciudadanos, especialmente en los que viven en inmediaciones de ellos.

Por tal motivo es que urge la necesidad de implantar un establecimiento que sea capaz de tratar todos los líquidos efluentes cloacales actuales de la ciudad y que de igual manera pueda tener la capacidad de ampliar su estructura para también tratar los caudales efluentes de un futuro en forma adecuada.

En el desarrollo del trabajo se hace referencia y descripción del funcionamiento actual del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Tarija (Lagunas Seriadas), enfocándonos en el grado de eficiencia de depuración en el que se encuentra y una apreciación global.

Luego se procede a obtener y calcular los parámetros básicos necesarios para el dimensionamiento de las alternativas a estudiar, partiendo de los datos con que se cuenta de la COSAALT que es la prestadora del servicio de agua potable y alcantarillado en la ciudad de Tarija; de igual manera se tomaron valores de diseño sobre otros parámetros según normas vigentes y bibliografía especializada que existen en la actualidad referidas al tratamiento de aguas residuales.

Siendo de los parámetros de diseño calculados:

Población
Dotación de Agua Potable
Coefficiente de Vuelco
Coefficiente Máximo, Mínimo Horario y Diario
Carga Másica Unitaria
Sólidos Suspendidos
Coliformes

Posteriormente se hace una introducción en el ámbito de la microbiología de aquellas bacterias que forman parte en la depuración de líquidos cloacales que se someten a un tratamiento biológico y que es la base para comprender una de las etapas de tratamiento más importantes en un establecimiento depurador de líquidos cloacales.

Se analizarán y dimensionarán las alternativas de sistemas de depuración que pudieran ser adecuadas para su implementación en la ciudad de Tarija, siendo las siguientes alternativas tomadas en cuenta:

- Lagunas de Estabilización
- Lagunas Seriadadas Aireadas
- Ralf-Lagunas
- Lechos Percoladores
- Lodos Activados en Aireación Extendida

Cada alternativa tendrá su cálculo de dimensionamiento respectivo, acompaña de una descripción del sistema, para conocer de manera más objetiva su funcionamiento.

Luego se realizará un análisis de comparación técnico-económico entre las alternativas propuestas, para elegir la más adecuada, y se procederá a su diseño a detalle.

Los resultados del trabajo se aprecian en el desarrollo del mismo y en el Capítulo IX, el cual hace referencia a las conclusiones y recomendaciones.

INDICE

Dedicatoria	
Agradecimiento	
Resumen	
	Página
1.- Introducción.....	1
2.- Información sobre la situación Actual.....	2
3.- Descripción de Proyectos previos realizados al respecto	5
4.- Objetivos.....	6
4.1.- General.....	6
4.2.- Específicos	7
CAPITULO I.- CONDICIONES ACTUALES DE TRATAMIENTO DE	
AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE TARIJA.....	8
1.- Descripción General	8
1.2.- Lagunas Anaerobias.-	11
1.3.- Laguna Facultativa.-	14
1.4.- Laguna de Maduracion.-	16
1.5.- Análisis de la Situación Actual de Funcionamiento	16
1.6.- Análisis sobre la disposición de Superficie en el Predio Actual	23
1.7.- Conclusión	24
CAPITULO II.- FUNDAMENTOS DEL TRATAMIENTO DEL AGUA	
RESIDUAL	26
2.1.- Introducción	26
2.2.- Tratamiento de Aguas Residuales	27
2.3.- Características y Constituyentes del Agua Residual	28
2.3.1.-Características Físicas, Químicas y Biológicas del Agua Residual.	28
2.3.1.1.-Características Físicas.....	28
2.3.1.2.- Características Químicas.....	31

	Página
2.3.1.3.- Características Biológicas del Agua Residual	35
2.3.2.- Constituyentes del Agua Residual.....	35
2.4.- Consideraciones sobre el Proyecto del Tratamiento de Aguas Residuales	39
2.4.1.- Operaciones Físicas Unitarias.	39
2.4.2.- Procesos Químicos Unitarios.	40
2.4.3.- Procesos Biológicos Unitarios.....	40
2.5.- Aplicación de los Métodos de Tratamiento	40
2.5.1.- Pretratamiento de las Aguas Residuales.....	42
2.5.2.- Tratamiento primario de las Aguas Residuales	42
2.5.3.- Tratamiento Secundario Convencional	42
2.5.4.- Control y Eliminación de Nutrientes.	43
2.5.5.- Tratamiento Avanzado / Recuperación del Agua Residual.....	43
2.5.6.- Tratamiento de Residuos tóxicos/ Eliminación de contaminantes específicos.....	44
2.5.7.- Tratamiento de las Aguas procedentes de Aliviaderos de las redes de Alcantarillado Unitario.	44
2.6.- Elección de los Diagramas de Flujo de Procesos y Tratamientos	45

CAPITULO III.- MICROBIOLOGIA Y BIOQUIMICA DE LA DEPURACION **47**

3.1.- Objetivos del tratamiento Biológico	47
3.2.- Papel de los Microorganismos	47
3.3.- Necesidades nutritivas para el Crecimiento Microbiano	48
3.4.- Identificación de los Microorganismos.....	49
3.4.1.- Formas vegetales	49
3.4.1.1.- Bacterias.....	49
3.4.1.2.- Hongos	53
3.4.1.3.- Algas	54
3.4.2.- Formas Animales.....	55

	Página
3.4.2.1.- Protozoos	55
3.4.2.2.- Rotíferos	56
3.4.2.3.- Crustáceos	56
3.5.- Necesidades Medioambientales	56
3.6.- Resumen	57
3.7.- Concepto Sanitario.....	58
CAPITULO IV.- PARÁMETROS DE DISEÑO	65
4.1.- Información Disponible y Utilizada	65
4.2.- Análisis de la Información	66
4.3.- Calculo de Parámetros de Diseño	69
4.3.1.- Población	69
4.3.2.- Dotación de Agua Potable	80
4.3.3.- Coeficiente de Vuelco	89
4.3.4.- Coeficiente Máximo, Mínimo Horario y Diario.....	95
4.3.5.- Carga Másica Unitaria.....	99
4.3.6.- Sólidos Suspendidos	102
4.3.7.- Coliformes	103
CAPITULO V.- ALTERNATIVAS ANALIZADAS DE SISTEMAS	
DEPURADORES DE LÍQUIDOS CLOCALES	105
5.1.- Lagunas de Estabilización	106
5.1.1- Lagunas de Estabilización Facultativas y de Maduración seriadas.....	107
5.1.1.1.- Criterio de Diseño	107
5.1.1.2.- Metodología de Cálculo.....	112
5.1.1.2.1.- Lagunas Facultativas	112
5.1.1.2.2.- Laguna de Maduración	116
5.1.1.3.- Cinética del Proceso	116
5.1.1.4.- Comentario.....	118

5.1.2.- Lagunas de estabilización Anaeróbica, Facultativa y de Maduración seriadas.....	119
5.1.2.1.- Criterio de Diseño.....	119
5.1.2.2.- Metodología de Cálculo.....	124
5.1.2.2.1.- Lagunas Anaeróbicas	124
5.1.2.2.2.- Lagunas Facultativas	125
5.1.2.2.3.- Lagunas de Maduración	125
5.1.2.3.- Cinética del Proceso	125
5.1.2.4.- Comentario.....	126
5.2.- Lagunas Seriadas Aireadas.	127
5.2.1.- Criterio de Diseño	128
5.2.2.- Metodología de Cálculo	135
5.2.2.1.- Laguna de Mezcla Completa	135
5.2.2.2.- Laguna de Mezcla Parcial.....	137
5.2.3.- Cinética del Proceso.	137
5.2.4.- Comentario.	138
5.3.- Ralf-Lagunas.....	139
5.3.1.- Criterio de Diseño.	139
5.3.2.- Metodología de Cálculo	146
5.3.3.- Cinética del Proceso	147
5.3.4.- Comentario.	148
5.4.- Lechos Percoladores	149
5.4.1.- Criterio de Diseño	150
5.4.2.- Metodología de Cálculo	156
5.4.2.1.- Pozo o Cámara Imhoff.....	156
5.4.2.2.- Lechos Percoladores	157
5.4.2.3.- Sedimentadores.....	157
5.4.3.- Cinética del Proceso	158

	Página
5.4.4.- Comentario	159
5.5.- Lodos Activados en Aireación Extendida	160
5.5.1.- Criterio de Diseño	160
5.5.2.- Metodología de Cálculo	163
5.5.2.1.- Reactor Biológico Tipo Carrousel	163
5.5.2.2.- Sedimentadores.....	164
5.5.2.3.- Espesadores.....	165
5.5.2.4.- Playas de Secado.....	166
5.5.3.- Cinética del Proceso	167
5.5.4.- Comentario	167
CAPITULO VI.- ESTUDIOS, RESULTADOS Y ELECCION DEL SISTEMA	
DE TRATAMIENTO..... 169	
6.1.- Estudio de áreas para la implementación de la futura planta de tratamiento....	169
6.2.- Ubicación del nuevo establecimiento depurador	172
6.3.- Alternativas a tomar en cuenta para la evaluación	172
6.4.- Análisis Técnico-Económico.....	174
6.4.1.- VAN (Valor Actual Neto)	175
6.4.2.- CIP (Costo Incremental Promedio)	176
6.4.3.- Resultados	176
CAPITULO VII.-LODOS ACTIVADOS EN AIREACION EXTENDIDA 178	
7.1.- Diagrama de flujo de operaciones y procesos	179
7.2.- Tratamiento Preliminar	180
7.2.1.- Rejas	182
7.2.2.- Desarenador.....	182
7.3.- Tratamiento Primario.....	185
7.4.- Tratamiento Secundario.....	185
7.4.1.- Reactor Biológico.....	185

	Página
7.4.2.- Sedimentador Secundario	189
7.4.3.- Estación de Rebombeo	192
7.5.- Tratamiento Terciario	193
7.6.- Tratamiento de lodos	196
7.6.1.- Espesador.....	196
7.6.2.- Playas de Secado de Lodos	199
7.7.- Presupuesto General	200
CAPITULO XIII.- CONCLUSIONES.....	201
BIBLIOGRAFIA.....	206
ANEXOS	

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.- Ubicación de Bolivia y Tarija.....	2
Figura 2.- Ubicación y Mapa de la Prov. Cercado en el Departamento de Tarija.	3
Figura 3.- Imagen Satelital de la Ciudad de Tarija.....	4
Figura 1.1.- Imagen Satelital – Ubicación general de Lagunas de Oxidación.....	10
Figura 1.2.- Imagen Satelital-Lagunas de Oxidación.....	10
Figura 1.3.- Fotografía de Laguna Anaerobia N° 1	11
Figura 1.4.- Fotografía de Laguna Anaerobia N° 2	11
Figura 1.5.- Ingreso a la 2da Laguna Anaerobia (toma 1).....	12
Figura 1.6.- Ingreso a la 2da Laguna Anaerobia (toma 2).....	12
Figura 1.7.- Fotografía de Laguna Facultativa	14
Figura 1.8.- Fotografía de Laguna de Maduración.....	16
Figura 1.9.- Gráficas de Datos de Diseño de Lagunas y Datos medidos en 1998(reales).....	19
Figura 1.10.- Valores Projectados de Diseño de las Lagunas vs Datos Medidos por Cosaalt en 2004 y 2005.	21
Figura 1.11.- Superficie utilizable en el Predio Actual para la implementación de una PTAR.....	24
Figura 2.1.- Clasificación de los sólidos presentes en las aguas residuales domésticas de concentración media.....	29
Figura 2.2.- Constituyentes del Agua Residual	35
Figura 2.3.- Diagrama alternativo de Fangos Activados	45
Figura 2.4.- Diagrama Alternativo de un Filtro Percolador	46
Figura 3.1.- División de una bacteria	50
Figura 3.2.- Anatomía de una Bacteria sencilla (Fuente: Encarta).....	51

	Página
Figura 3.3.- Modelo de crecimiento de Microorganismos en base a su número	59
Figura 3.4.- Modelo de crecimiento de Microorganismos en base a su Masa.....	60
Figura 4.1.- Gráfica de Resultados de Proyecciones de Población NB688 y Otros.....	73
Figura 4.2.- Gráfica de Proyección propuesta y asumida con las demás Proyecciones	76
Figura 4.3.- Gráfica de Proyección Propuesta y Propuestas realizadas por Estudios anteriores	79
Figura 4.4.- Volúmenes de Agua producidos (COSAALT).....	81
Figura 4.5.- Volumen de Agua producido y facturado en la gestión 2004	82
Figura 4.6.- Número de conexiones de Agua Potable	83
Figura 4.7.- Valores de Dotación y Vol. producidos para las gestiones 2002, 2003 y 2004	85
Figura 4.8.- Desglose de Pérdidas en el Sistema de suministro de agua Potable	86
Figura 4.9.- Cálculo de dotación de Agua tomando en cuenta el desglose de pérdidas	87
Figura 4.10.- Cobertura de Medición	88
Figura 4.11.- N° de conex, y habitantes desde la gestión 2000 hasta el 2004	90
Figura 4.12.- Conexiones por Zonas (Agosto 2005)	92
Figura 4.13.- Caudales promedios mensuales de ingreso a Lagunas para el 2002, 2003, 2004 y 2005	96
Figura 4.14.- Valores de DBO5 en el ingreso a Lagunas para el 2003, 2004, y 2005	99
Figura 4.15.- Valores per cápita de DBO5 para el 2003, 2004 y 2005	100
Figura 5.1.- Facultativas-Maduración Remoción de DBO5.....	109

	Página
Figura 5.2.-	Facultativas-Maduración Remoción de Colifecales 109
Figura 5.3.-	Esquema de diseño de Lagunas Facultativas - Maduración 110
Figura 5.4.-	Anaeróbica-Facultativa-Maduración Remoción de DBO5 121
Figura 5.5.-	Anaeróbica-Facultativa-Maduración Remoción de Colifecales 121
Figura 5.6.-	Esquema de diseño de Lagunas Facultativas - Maduración 122
Figura 5.7.-	Lagunas Aireadas Remoción de DBO5 130
Figura 5.8.-	Potencia de Accionamiento Lagunas Aireadas..... 131
Figura 5.9.-	Esquema de Diseño de Lagunas Aireadas de Mezcla completa y Parcial..... 132
Figura 5.10.-	Reactor-Facultativas-Maduración Remoción de DBO5 141
Figura 5.11.-	Ralf -Facultativas-Maduración Remoción de Coliformes Fecales 141
Figura 5.12.-	Esquema de Diseño de Ralf-Facultativas-Maduración..... 142
Figura 5.13.-	Reactor-Lagunas Remoción de DBO5 (en el predio)..... 144
Figura 5.14.-	Reactor-Lagunas Remoción de Coliformes (en el predio) 144
Figura 6.1.-	Áreas recorridas y posibles para la implementación del Establecimiento Depurador 169
Figura 6.2.-	Posibles Áreas Disponibles desde el punto de vista plani- altimétrico 170
Figura 6.3.-	Zona de Riego del proyecto Múltiple San Jacinto..... 171
Figura 7.1.-	Esquema del Sistema Lodos Activados 181
Figura 7.2.-	Vertedero Proporcional..... 184
Figura 7.3.-	Balace de Flujos y Masas 188
Figura 7.4.-	Esquema de configuración de vertedero perimetral para los Sed. Secundarios 191
Figura 7.5.-	Esquema de configuración de Cámara de contacto de Cloro 196

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1.- Datos de Diseño de las Lagunas y datos medidos por la Cosaalt en 1998.....	18
Tabla 1.2.- Caudales y DBO5 promedios afluentes de Lagunas de Oxidación.....	20
Tabla 1.3.- Valores de Parámetros en el Efluente de la Laguna de Maduración	22
Tabla 1.4.- Algunos Límites permisibles para descargas líquidas - Ley de Medio Ambiente	23
Figura 2.1.- Clasificación de los sólidos presentes en las aguas residuales domésticas de concentración media.....	29
Figura 2.2.- Constituyentes del Agua Residual	35
Figura 2.3.- Diagrama alternativo de Fangos Activados	45
Figura 2.4.- Diagrama Alternativo de un Filtro Percolador	46
Figura 3.1.- División de una bacteria	50
Figura 3.2.- Anatomía de una Bacteria sencilla (Fuente: Encarta).....	51
Figura 3.3.- Modelo de crecimiento de Microorganismos en base a su número	59
Figura 3.4.- Modelo de crecimiento de Microorganismos en base a su Masa.....	60
Tabla 4.1.- Datos del INE, según los Censos Nacionales	69
Tabla 4.2.- Resumen de resultados de Proyecciones de Población NB688 y Otros	72
Tabla 4.3.- Proyección de población Propuestas y Asumida.	75
Tabla 4.4.- Proyección de Población Propuesta y Proy. Realizadas por estudios anteriores	78
Tabla 4.5.- Volúmenes producidos de Agua (COSAALT).....	81

	Página
Tabla 4.6.- Cálculo inicial de dotación de agua potable para las gestiones 2002, 2003 y 2004	84
Tabla 4.7.- Valores de DBO5 para los Barrios Catedral, Luis de Fuentes y Estación de Bombeo del puente San Martín	101
Tabla 4. 8.- Valores típicos de Sólidos Suspendidos	102
Tabla 4.9.- Valores de DBO5 para los Barrios Catedral, Luis de Fuentes, Estación de Bombeo del puente San Martín y Lagunas.....	102
Tabla 4.10.- Valores típicos de Coliformes Totales.....	103
Tabla 4.11.- Valores de Coliformes Fecales para los Barrios Catedral, Luis de Fuentes, Estación de Bombeo del puente San Martín y Lagunas	104
Tabla 5.1.- Valores de Diseño de Sistema de Lagunas Facultativas-Maduración	107
Tabla 5.2.- Implementación de Etapas y población a servir	108
Tabla 5.3.- Eficiencias de remoción de DBO y Colifecales para cada laguna.....	108
Tabla 5.4.- Valores de Diseño de Sistema de Lagunas Anaeróbica-Facultativa-Maduración.....	119
Tabla 5.5.- Implementación de Etapas y población a servir	120
Tabla 5.6.- Eficiencias de remoción de DBO y Colifecales para cada laguna.....	120
Tabla 5.7.- Valores de Diseño de Sistema de Lagunas Aireadas.....	128
Tabla 5.8.- Implementación de Etapas y población a servir	129
Tabla 5.9.- Eficiencias de remoción de DBO y Colifecales para cada laguna.....	129
Tabla 5.10.- Potencia requerida en cada Laguna Lagunas Aireadas.....	130
Tabla 5.11.- Requerimiento de O2 por laguna Lagunas Aireadas	131
Tabla 5.12.- Valores de Diseño del Reactor Anaeróbico.....	140

	Página
Tabla 5.13.-	Valores de Diseño de Lagunas con la alternativa del reactor Anaeróbico..... 140
Tabla 5.14.-	Eficiencias de remoción para el sistema Ralf-Lagunas 140
Tabla 5.15.-	Valores de Diseño del Reactor Anaeróbico en el predio actual..... 143
Tabla 5.16.-	Valores de Diseño de Lagunas con la alternativa del reactor Anaeróbico en el predio actual 143
Tabla 5.17.-	Eficiencias de remoción para el sistema Ralf-Lagunas en el predio actual..... 143
Tabla 5.18.-	Algunos parámetros de diseño establecidos por Lettinga para Reactor Anaeróbico 146
Tabla 5.19.-	Valores de parámetros de diseño para la alternativa Reactor-Facultativas 146
Tabla 5.20.-	Implementación de etapas y población a servir Lechos Percoladores..... 151
Tabla 5.21.-	Valores de diseño del sistema Lechos Percoladores..... 151
Tabla 5.22.-	Eficiencias de remoción para el sistema de Lechos Percoladores..... 152
Tabla 5.23.-	Implementación de etapas y población a servir Lodos Activados 160
Tabla 5.24.-	Valores de diseño del sistema Lodos Activados..... 161
Tabla 6.1.-	Comparación de parámetros de diseño de las alternativas 173
Tabla 6.2.-	Valor Actual del Costo de las Alternativas Analizadas..... 177
Tabla 7.1.-	Valores de Diseño de Rejas 182
Tabla 7.2.-	Valores de diseño de Desarenador..... 184
Tabla 7.3.-	Valores de concentraciones para el balance de masa 189
Tabla 7.4.-	Dosis de cloro 194

INDICE DE PLANOS

	Página
Plano 1.1.- Plano de Lagunas de Oxidación.	9
Plano 5.1.- Lagunas Facultativas-Maduración.....	111
Plano 5.2.- Lagunas Anaerobias-Facultativas-Maduración seriadas	123
Plano 5.3.- Lagunas Aireadas Mezcla Completa y Parcial, en el predio actual.....	134
Plano 5.4.- Reactor Anaeróbico en el predio actual.....	145
Plano 5.5.- Lechos Percoladores de Muy Alta Carga	153
Plano 5.6.- Lechos Percoladores de Alta Carga.....	154
Plano 5.7.- Lechos Percoladores de Baja Carga	155
Plano 5.8.- Lodos Activados en aireación extendida con reactor tipo Carrousel.....	162

INDICE DE ANEXOS

- Anexo N° 1 Parámetros de Diseño
- Anexo N° 2 Planillas de Cálculo de Alternativas
- Anexo N° 3 Evaluación Técnico-Económica
- Anexo N° 4 Planillas de cálculo de Lodos Activados
- Anexo N° 5 Cómputos y Presupuesto Global
- Anexo N° 6 Planos