

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OBRAS SANITARIAS



**DISEÑO DE LA INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES PARA EL MATADERO
MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE TARIJA MEDIANTE EL REACTOR DE
LECHO DE LODO GRANULAR EXPANDIDO (EGSB)**

Por:

MARÍA FERNANDA COCA SUBELZA

**AGOSTO de 2019
TARIJA – BOLIVIA**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OBRAS SANITARIAS

**DISEÑO DE LA INGENIERÍA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES PARA EL MATADERO
MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE TARIJA MEDIANTE EL REACTOR DE
LECHO DE LODO GRANULAR EXPANDIDO (EGSB)**

Por:

MARÍA FERNANDA COCA SUBELZA

PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV 502

AGOSTO de 2019

TARIJA – BOLIVIA

V°B°

M.Sc. Ing. Jaime Orlando Zenteno Benitez

DOCENTE MATERIA CIV-502

M.Sc. Ing. Ernesto Álvares Gozalvez

**DECANO DE LA FACULTAD DE
CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

M.Sc. Ing. Elizabeth Castro

**VICEDECANA DE LA FACULTAD
DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. Adel Cortez Maire

Ing. Nelzon Rodríguez Lezana

Ing. Oscar Ricaldi Torrez

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

DEDICATORIA:

Dedico este proyecto de grado:

A Dios por iluminarme siempre el camino a seguir, y darme la fuerza para lograr esta etapa en mi vida.

A mis Padres Lorenzo Coca y Guilda Subelza, porque con su amor, apoyo, esfuerzo y comprensión me llevaron de la mano hasta este logro.

A mis hermanos Carlos y Daniela, por apoyarme en todo momento e impulsarme a lograr mis sueños.

A mis sobrinos Ezequiel y Mariana, por ser mi motivación para lograr mis metas.

AGRADECIMIENTOS:

Agradezco:

A la vida, que me da la oportunidad día a día de crecer como persona.

A la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”, por todo el conocimiento y la formación académica que me ha ofrecido.

Al grupo de Estudio con el que tuve el grato placer de compartir a lo largo d todo el proceso de aprendizaje.

A los docentes por la predisposición mostrada al momento de impartir la enseñanza en el periodo académico.

A la Institución del Matadero Municipal de la Ciudad de Tarija, a cargo del Lic. Julio Rodríguez, por brindarme la información pertinente y el acceso a sus instalaciones para la realización del presente trabajo.

ÍNDICE

Advertencia.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice	iv

CAPITULO 1

CONSIDERACIONES GENERALES

	PAGINA
1.1.Introducción.....	1
1.2.Planteamiento del Problema	2
1.3.Justificación del Tema	3
1.3.1. Académica	3
1.3.2. Técnica.....	3
1.3.3. Social	4
1.4.Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos	4
1.5.Hipótesis a Comprobar	4
1.6.Limitaciones del Estudio	5

CAPITULO 2

MARCO REFERENCIAL

2.1.Marco Teórico	6
2.1.1. Clasificación de Mataderos	6
2.1.2. Descripción General de los Procesos del Faenado	7
2.1.2.1.Estabulación	7
2.1.2.2.Desangrado	8

2.1.2.3.Escaldado.....	9
2.1.2.4.Evisceración.....	10
2.1.2.5.Limpieza De Carcasas	11
2.1.2.6.Refrigeración	12
2.1.2.7.Despiece y Categorización	12
2.1.2.8.Limpieza e Higiene.....	13
2.1.3. Fuentes de Generación de Residuos en un Matadero	14
2.1.3.1.Residuos Líquidos	15
2.1.3.2.Residuos Sólidos	15
2.1.4. Composición Típica de los Procesos del Faenado.....	15
2.1.5. Caracterización del Agua Residual Industrial	17
2.1.6. Muestreo	18
2.1.6.1.Muestra Simple.....	19
2.1.6.2.Muestra Compuesta	19
2.1.6.3.Muestra Cualificada.....	19
2.1.7. Determinación de Caudales	19
2.1.7.1.Método Volumétrico	20
2.1.7.2.Método Teórico	21
2.1.7.2.1. Índice de Consumo de Carne.....	21
2.1.7.2.2. Demanda Futura	21
2.1.7.2.3. Caudal Futuro	22
2.1.7.2.4. Caudal Medio Diario	22
2.1.7.2.5. Caudal Máximo Diario	22
2.1.7.2.6. Caudal Máximo Horario.....	23
2.1.8. Tratamiento de Residuos Líquidos	23
2.1.8.1.Pretratamiento.....	24
2.1.8.2.Tratamiento Primario.....	31
2.1.8.3.Tratamiento Secundario.....	40
2.1.8.4.Tratamiento Terciario	42
2.1.8.5.Reúso de las Aguas Residuales Tratadas.....	44
2.1.8.6.Tratamiento de Lodos.....	47

2.2.Marco Conceptual.....	49
2.2.1. Tratamiento.....	50
2.2.2. Carcasas	50
2.2.3. Faenado.....	50
2.2.4. Potencial de Hidrogeno-pH	50
2.2.5. Sólidos Sedimentables	50
2.2.6. Sólidos Suspendidos Totales	51
2.2.7. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	51
2.2.8. Demanda Química de Oxígeno (DQO)	51
2.2.9. Grasas y Aceites	51
2.2.10. Nitrógeno	51
2.2.11. Fósforos	51
2.2.12. Aforar	52
2.2.13. Floculación	52
2.2.14. Flocs	52
2.2.15. Aerobio	52
2.2.16. Anaerobio	52
2.2.17. Sanitización	52
2.3.Marco Normativo	53
2.3.1. Ley N° 0300 - Marco de la Madre Tierra.....	53
2.3.2. Ley N° 1333-Medio Ambiente.....	53
2.3.3. Reglamento de la Ley N° 1333 de Medio Ambiente en Materia de Contaminación Hídrica RMCH)	54
2.3.4. Reglamento Ambiental Sector Industrial Manufacturero (RASIM)	54
2.1.Marco Institucional.....	55
2.1.1. Instituciones Internacionales	55
2.1.1.1.Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO).55	
2.1.1.2.Organización Mundial de la Salud (OMS).....	55
2.1.2. Instituciones Nacionales	56
2.1.2.1.Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria (SENASAG)	56

2.1.3. Instituciones Departamentales.....	56
2.1.3.1.Matadero Municipal De La Ciudad De Tarija.....	56
2.1.3.2.Laboratorio De Aguas, Suelos, Alimentos Y Análisis Ambiental – RIMH.....	56

CAPITULO 3

TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES

3.1. Degradación Anaerobia de la Materia Orgánica	57
3.2. Tipos de Sistema de Tratamiento Anaerobio	58
3.2.1. Reactor Anaerobio De Cama De Lodos Y Flujo Ascendente (UASB).....	58
3.2.2. Reactor Anaerobio De Lecho De Lodo Granular Expandida (EGSB).....	59
3.2.3. Bioreactor Anaerobio de Membrana (AnMBR).....	60
3.2.4. Reactor Anaerobio de Contacto.....	60
3.2.5. Digestión Anaerobia de Lodos	60
3.2.6. Filtro Anaerobio	61
3.2.7. Tanque Séptico	61
3.2.8. Tanque Imhoff	62
3.2.9. Lagunas Anaerobias	62
3.3. Selección del Tratamiento Secundario	62
3.4. Reactor de Lecho de Lodo Granular Expandido	63
3.4.1. Diseño de un Reactor Anaerobio (EGSB).....	67

CAPITULO 4

METODOLOGÍA

4.1.Datos Informativos	76
4.1.1. Descripción General del Área del Proyecto	76
4.1.2. Clima	77
4.1.3. Demografía.....	77

4.1.4. Área de Estudio	82
4.2. Antecedentes de la Propuesta	89
4.3. Caracterización de las Aguas Residuales	90
4.3.1. Muestreo	90
4.3.2. Análisis de los Muestras	94
4.3.3. Análisis Estadísticos de Parámetros de Caracterización	95
4.3.4. Comparación de Parámetros con la Normativa	97
4.4. Determinación del Caudal	98
4.4.1. Método Volumétrico	98
4.4.2. Cálculo del Caudal Según la Demanda Promedio de Animales Faenados.....	107
4.4.3. Cálculo del Caudal Según la Demanda Máxima de Animales Faenados.....	109
4.4.4. Cálculo del Caudal Máximo Diario.....	112
4.4.5. Cálculo del Caudal Máximo Horario	112

CAPITULO 5

DISEÑO DE LA INGENIERÍA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL PARA EL MATADERO MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE TARIJA

5.1. Canal Encargado de guiar el Agua hasta el Tanque de Regulación	113
5.2. Tubería encargada de guiar el Agua a través de la Planta de Tratamiento.....	115
5.3. Diseño del Tanque de Regulación	116
5.4. Pretratamiento o Tratamiento Preliminar	122
5.4.1. Diseño de Canal con Rejillas.....	122
5.5. Tratamiento Primario.....	125
5.5.1. Diseño de Trampa de Grasas	125
5.5.2. Diseño del Sedimentador Primario.....	127
5.6. Tratamiento Secundario.....	130
5.6.1. Diseño del Reactor Anaerobio de Lecho de Lodo Granular	130
5.7. Diseño del Lecho de Secado.....	139

5.8. Análisis y Discusión de los Resultados	147
---------------------------------------------------	-----

CAPITULO 6

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

6.1. Presupuesto	150
6.2. Especificaciones Técnicas	154
6.2.1. Obras Preliminares	154
6.2.2. Tubería y Accesorios	157
6.2.3. Canal de Rejas	158
6.2.4. Tanque de Regulación	167
6.2.5. Trampa de Grasas	172
6.2.6. Sedimentador Primario	173
6.2.7. Reactor de Lecho de Lodo Granular Expandido (EGSB)	173
6.2.8. Lecho de Secado	178

CAPITULO 7

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

7.1. Objetivo del Manual de Operación y Mantenimiento	181
7.2. Unidades del Sistema de Tratamiento	181
7.2.1. Rejilla	182
7.2.2. Trampa de Grasas	183
7.2.3. Tanque de Regulación	183
7.2.4. Sedimentador Primario	184
7.2.5. Reactor Anaerobio de Lecho de Lodo Granular	185
7.2.6. Patio de Secados de Lodos	187

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones.....	188
8.2. Recomendaciones	189

ÍNDICE DE TABLAS

	PAGINA
Tabla 1. Residuos generados en las etapas del proceso de faenado de un matadero.....	2
Tabla 2. Parámetros considerados para automonitoreo	16
Tabla 3. Parámetros Máximos Admisibles para descarga en el Alcantarillado Sanitario .	16
Tabla 4. Concentraciones habituales de contaminantes en el efluente hídrico de un matadero	17
Tabla 5. Coeficiente de consumo máximo diario	22
Tabla 6. Coeficiente de consumo máximo horario.....	23
Tabla 7. Características de las rejillas de barras	26
Tabla 8. Tiempos de retención hidráulicos.....	31
Tabla 9. Parámetros de diseño para sedimentadores rectangulares y circulares en el tratamiento primario	35
Tabla 10. Consideraciones de diseños de sedimentación primaria	37
Tabla 11. Valores de las constantes empíricas, a y b	39
Tabla 12. Tiempo requerido para la digestión de lodos	48
Tabla 13. Eficiencia de tratamiento anaerobio	57

Tabla 14. Cargas aplicables en lodo granular y lodo floculento en relación con la concentración del agua residual y la fracción insoluble del DQO en el agua residual.....	67
Tabla 15. Rangos de valores para el número de puntos de entrada requeridos en un reactor	74
Tabla 16. Datos censales de la ciudad de Tarija.....	77
Tabla 17. Tasa de crecimiento para la ciudad de Tarija	80
Tabla 18. Localización del Estudio	82
Tabla 19. Promedio de animales bovinos faenados diario, semanal y mensualmente del año 2018	84
Tabla 20. Número máximo de animales bovinos faenados diariamente del año 2018	84
Tabla 21. Animales porcinos faenados diario, semanal y mensual de un mes representativo.....	85
Tabla 22. Número máximo de animales porcinos faenados diariamente de un mes.....	85
Tabla 23. Volumen de muestra en función al caudal	91
Tabla 24. Resultado de la caracterización de parámetros del Ing. Ilsen Copa (EDTP).....	93
Tabla 25. Resultado de la caracterización de parámetros de la Unv. Fernanda Coca	95
Tabla 26. Resultados de los parámetros de caracterización analizados	96
Tabla 27. Análisis estadístico de cada parámetro para el matadero municipal de Tarija....	97
Tabla 28. Comparación de parámetros con los límites permisibles	97
Tabla 29. Eficiencia de remoción esperada	98
Tabla 30. Cálculo del Caudal Promedio Diario.....	98
Tabla 31. Variaciones de Caudal.....	101

Tabla 32. Volumen de agua residual	103
Tabla 33. Caudal medio.....	104
Tabla 34. Caudales horarios	105
Tabla 35. Pérdida de Carga por Accesorios	120
Tabla 36. Pérdida de Carga por Accesorios	137
Tabla 37. Características técnicas bomba de recirculación	138
Tabla 38. Perdida de carga por accesorios	145
Tabla 39. Características técnicas bomba de recirculación	146
Tabla 40. Características del canal principal.....	147
Tabla 41. Características del tanque de regulación	148
Tabla 42. Características de la rejilla.....	148
Tabla 43. Características de la trampa de grasas	148
Tabla 44. Características del Sedimentador Primario	149
Tabla 45. Características del Reactor EGSB	149
Tabla 46. Características del lecho de secado	150
Tabla 47. Presupuesto General	151

ÍNDICE DE FIGURAS

	PAGINA
Figura 1. Estabulación	7
Figura 2. Desangrado.....	8
Figura 3. Escaldado para bovinos.....	9
Figura 4. Depilado para porcinos	10
Figura 5. Evisceración	11
Figura 6. Limpieza de carcasas.....	12
Figura 7. Despiece y categorización.....	13
Figura 8. Esquema de un matadero típico	14
Figura 9. Efectos de los errores cometidos.....	18
Figura 10. Aforo volumétrico.....	20
Figura 11. Rejilla media con lámina perforada para escurrimiento del material extraído ..	27
Figura 12. Rejilla de limpieza mecánica con peine giratorio	27
Figura 13. Zona de rejillas.....	29
Figura 14. Tipos de sedimentación para diferentes unidades.....	34
Figura 15. Reactor EGSB	64
Figura 16. Ubicación del Departamento de Tarija	76
Figura 17. Variación de población en la ciudad de Tarija.....	78
Figura 18. Tasa de crecimiento poblacional para la ciudad de Tarija	81

Figura 19. Ubicación del matadero municipal de la ciudad de Tarija.....	83
Figura 20. Canal de recolección de aguas residuales procedentes de Bovinos	86
Figura 21. Canal de recolección de aguas residuales procedentes de Porcinos	86
Figura 22. Canal de recolección de aguas residuales del matadero.....	87
Figura 23. Tubería de salida de las aguas residuales del matadero	87
Figura 24. Residuos sólidos del matadero	88
Figura 25. Corral de ganado	89
Figura 26. Tubo de salida del efluente residual industrial.....	91
Figura 27. Toma de muestra.....	92
Figura 28. Muestras simples.....	92
Figura 29. Muestras refrigeradas	93
Figura 30. Variación del caudal en el proceso de faenado	100
Figura 31. Tirante vs Caudal	101
Figura 32. Variación horaria de caudal	103
Figura 33. Selección del tipo de Bomba.....	121
Figura 34. Selección de la potencia de Bomba.....	122

ANEXOS

ANEXO 1

Reglamento Ambiental del Sector Industrial Manufacturero (RASIM)

ANEXO 2

Registro de Faeneo de Ganado Bovino y Porcino del Año 2018

ANEXO 3

Registro de Faeneo

ANEXO 4

Parámetros Analizados en Laboratorio RIMH- Univ: María Fernanda Coca, 2018

ANEXO 5

Parámetros Analizados en Laboratorio RIMH-Ing. Ilsen Copa, 2017

ANEXO 6

Planos del Diseño de la Planta de Tratamiento