

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES INDUSTRIALES PARA LA CERVECERIA
“CERVEUSUR S.R.L.” EN UN REACTOR UASB**

Por:

MARIO STIBEN MARTINEZ VEGA

**Modalidad de graduación (Anexo E) presentado a consideración de la
“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito
para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.**

junio del 2021

TARIJA-BOLIVIA

V°B°

M.Sc. Ing. Ernesto Álvarez Gozalves

DECANO

M.Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa

VICEDECANO

M.Sc. Ing. Jorge Tejerina Oller

PROFESOR GUIA

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. Gustavo Román Moreno López

TRIBUNAL

Ing. Freddy López Zamora

TRIBUNAL

Ing. María Estela Sullca

TRIBUNAL

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor

DEDICATORIA

A la memoria de mi abuelita Calixta Vega Ugarte y mi madre Norma Vega Vega que no están presentes en forma física, sé que siempre desde arriba me están protegiendo y guiando cada paso de mi vida, siempre trabajaré para ser una mejor persona y se sientan orgullosas de mí.

A mi abuelito Mario Vega que con su constante apoyo incondicional y cariño es mi guía, orgullo y lo más importante en mi vida.

A mis padres Alberto Martínez Méndez y Lorena Carrazana por todo el apoyo y confianza en los buenos y malos momentos, siempre tomaré su ejemplo de responsabilidad y esfuerzo por la familia.

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por darme la vida, la felicidad y la oportunidad de culminar mis estudios.

A mis padres Alberto Martínez Méndez y Lorena Carrazana por su apoyo durante todo el tiempo.

A mis tíos Ariel, Diony, Raúl, Nancy, Adel, Josefa, Lidia, Hugo, Elsa. Por brindarme cada uno su cariño, el apoyo incondicional y la motivación para seguir adelante.

A mis hermanos, primos y amigos por el apoyo y la confianza en los buenos y malos momentos.

Al Ing. Héctor Quiroga Torrez por brindarme las puertas de su empresa y por toda la colaboración prestada.

A mi tutor guía Ing. Jorge Tejerina Oller por su constante apoyo guiándome en cada paso del proyecto, a mis tribunales Ing. Gustavo Román Moreno López, Ing. Freddy López Zamora, Ing. María Estela Sullca por toda la colaboración para finalizar este trabajo.

PENSAMIENTO

La vida te puede dar mil tropezones en todos los órdenes, en el amor, en el trabajo, en la aventura y sueños que estás pensando.

Pero una y mil veces estas hecho con fuerzas para volverte a levantar y volver a empezar de nuevo.

Porque lo importante es el camino

¡Derrotados son los que dejan de luchar...!

José Mujica

INDICE

	Página
El tribunal calificador.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Pensamiento.....	iv
Resumen.....	v

INTRODUCCION

Antecedentes.....	1
OBJETIVOS.....	3
Objetivo general	3
Objetivos Especificos.....	3
Justificación.....	3

CAPITULO I

MARCO TEORICO

1.1. Calidad del agua.....	5
1.2. Efluentes generados en la industria cervecera.....	5
1.2.1.Residuos	6
1.2.2.Aguas Residuales.....	6
1.2.3.Otros efluentes.....	7
1.3. Parámetros de las aguas residuales de la cerveza.....	7
1.3.1.Propiedades físicas.....	7
1.3.2.Propiedades químicas.....	10

1.3.3.Propiedades biológicas.....	15
1.4. Tratamiento de aguas residuales.....	16
1.5. Tipos de tratamientos de aguas residuales.....	17
1.5.1.Tratamiento físico.....	17
1.5.2.Tratamiento químico.....	18
1.5.3.Tratamiento biológico.....	18
1.6. Niveles de tratamiento de aguas residuales en industria cervecera.....	18
1.6.1.Tratamientos preliminares.....	18
1.6.2.Tratamientos primarios.....	19
1.6.3.Tratamientos secundarios.....	28
1.6.4.Tratamiento terciario.....	40

CAPITULO II

DESCRIPCION DE LA PLANTA

2.1. Aspectos generales de la planta.....	42
2.1.1.Antecedentes de la Planta Cervecera “CERVEUSUR S.R.L.”.....	42
2.1.2.Organización Industrial.....	43
2.1.3.Localización de la Planta Cervecera “CERVEUSUR S.R.L.”.....	44
2.1.4.Vías de acceso al área de proyecto.....	44
2.1.5.Características físico-natural del área circundante al proyecto.....	45
2.2. Descripción del proceso productivo de la Planta Cervecera “CERVEUSUR S.R.L.”.....	49
2.2.1.Molienda.....	50
2.2.2.Pesaje.....	51

2.2.3. Maceración de adjuntos y maceración principal.....	52
2.2.4. Separación del mosto.....	53
2.2.5. Cocción del mosto.....	54
2.2.6. Enfriador del mosto.....	55
2.2.7. Fermentación.....	56
2.2.8. Maduración.....	57
2.2.9. Filtración.....	58
2.2.10. Carbonatación.....	58
2.2.11. Envasado.....	59
2.2.12. Pasteurizado.....	61
2.2.13. Etiquetado y encajonado.....	62
2.3. Servicios auxiliares	62
2.3.1. Sistema de agua.....	62
2.3.2. Sistema de refrigeración.....	62
2.3.3. Sistema de generación de vapor.....	63
2.3.4. Almacén de materias primas e insumos	64
2.4. Diagrama de flujo de la Planta Cervecera “CERVEUSUR S.R.L.”	65
2.4.1. Instrumentación de la elaboración de la cerveza “CERVEUSUR S.R.L.”	66
2.5. Distribución de la Planta Cervecera “CERVEUSUR S.R.L.” (Plot-Plant)	67
2.6. Efluentes generados por la Planta Cervecera “CERVEUSUR S.R.L.”	68
2.7. Criterios de evaluación para la selección del proceso de tratamiento.....	69

CAPITULO III

CARACTERIZACION Y CUANTIFICACION DE LAS AGUAS RESIDUALES EN FUNCION DEL PROCESO PRODUCTIVO

3.1. Generación de las aguas residuales de la Planta Cervecera “CERVEUSUR S.R.L.”	73
3.1.1.Lavado de tanques de almacenamiento de silos	73
3.1.2.Lavado de los molinos de rodillos y martillos.....	74
3.1.3.Lavado de los tanques de cocimiento.....	75
3.1.4.Lavado de tanques de fermentación y maceración	77
3.1.5.Lavado de envases (cajas, botellas y barriles).....	78
3.1.6.Lavado del pasteurizador.....	80
3.1.7.Lavado de la cámara de refrigeración.....	80
3.2. Determinación del caudal de descarga.....	83
3.3. Límites permisibles de parámetros para la descarga de efluentes	85
3.4. Parámetros significativos de los efluentes industriales de cervecerías	85
3.5. Muestras	86
3.6. Características del agua residual de la Planta Cervecera “CERVEUSUR”	86

CAPITULO IV

SELECCIÓN DE LA TECNOLOGIA PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

4.1. Generalidades	88
4.2. Equipos del Sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto para la Planta Cervecera “CERVEUSUR”	88
4.2.1. Cribado.....	89

4.2.1.1. Rejas sencillas de limpieza manual.....	89
4.2.1.2. Operación y mantenimiento de cámara de rejas	90
4.2.2. Sedimentador rectangular	90
4.2.2.1. Componentes de un sedimentador rectangular	91
4.2.2.2. Operación y mantenimiento del sedimentador secundario.....	92
4.2.3. Tanque homogenizador	92
4.2.4. Reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (UASB).....	93
4.2.4.1. Forma y tamaño del reactor U.A.S.B.	94
4.2.4.2. Partes de un reactor U.A.S.B.....	95
4.1.4.3. Funcionamiento del reactor U.A.S.B	97
4.1.4.4. Las ventajas y desventajas en el uso de los reactores UASB.....	98
4.1.4.5. Factores que influyen en el tratamiento anaerobio de aguas residuales.....	98

CAPITULO V

DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

5.1. Descripción del proceso de tratamiento.....	100
5.2. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales de la Planta Cervecera “CERVEUSUR S.R.L.”	102
5.3. Balance de materia	103
5.3.1. Cribado	104
5.3.1.1. Balance de materia en el cribado.....	104
5.3.2. Cámara de sedimentación.....	106
5.3.2.1. Balance de materia en la cámara de sedimentación	106
5.3.3. Tanque homogenizador o pulmón.....	107

5.3.3.1. Balance de materia en el tanque homogenizador.....	108
5.3.4. Reactor UASB.....	108
5.3.4.1. Balance de materia en el Reactor UASB.....	109
5.3.5. Comparación del efluente generados por la industria cervecera en la entrada y salida del sistema de tratamiento de aguas.....	111
5.4. Selección de los equipos propuestos.....	112
5.5. Diseño y dimensionamiento de los equipos.....	112
5.5.1. Criterios de diseño de rejas sencillas y limpieza manual.....	113
5.5.1.1. Velocidad de flujo a través de las rejas.....	113
5.5.1.2. Inclinación de las barras.....	114
5.5.1.3. Abertura o espaciamiento de las barras.....	114
5.5.1.4. Dimensiones de las barras.....	115
5.5.1.5. Dimensionamiento de las rejas de limpieza manual.....	115
5.5.1.6. Esquema de las dimensiones del canal de rejas sencillas de limpieza manual.....	119
5.5.2. Criterios de diseño de un Sedimentador rectangular.....	121
5.5.2.1. Dimensionamiento del Sedimentador rectangular.....	122
5.5.3. Criterios de diseño de la pantalla difusora.....	127
5.5.3.1. Dimensionamiento de la pantalla difusora.....	127
5.5.3.2. Esquema de las dimensiones del sedimentador rectangular y pantalla difusora.....	129
5.5.4. Criterios de diseño del tanque homogenizador.....	133
5.5.4.1. Dimensionamiento del tanque homogeneizador.....	134
5.5.4.2. Esquema de las dimensiones del tanque homogeneizador.....	136

5.5.5. Criterios de diseño del Reactor Anaerobio de Manto de Lodos y Flujo Ascendente (UASB).....	137
5.5.5.1. Análisis de los datos de temperatura del ambiente.....	137
5.5.5.2. Volumen del reactor.....	137
5.5.5.3. Tiempo de retención hidráulica.....	138
5.5.5.4. Altura del reactor.....	138
5.5.5.5. Tubos distribuidores del afluente.....	139
5.5.5.6. Dimensionamiento del Reactor Anaerobio de Manto de Lodos y Flujo Ascendente (UASB).....	139
5.5.6. Criterios de diseño del separador gas - sólido – líquido (GSL).....	142
5.5.6.1. Para Abertura entre el reactor y el separador GSL.....	144
5.5.6.2. Área superficial del sedimentador.....	145
5.5.6.3. Dimensionamiento del separador gas - sólido – líquido (GSL).....	146
5.5.6.4. Esquema de las dimensiones Reactor Anaerobio de Manto de Lodos y Flujo ascendente (AUSB) y el separador gas - sólido – líquido (GSL).....	149
5.6. Inversión necesaria para la planta de tratamiento.....	165
5.6.1. Características de conexiones del cribado rejas sencillas de limpieza manual.....	165
5.6.2. Características de conexiones del sedimentador rectangular.....	166
5.6.3. Características de conexiones del tanque homogeneizador.....	168
5.6.4. Características de conexiones del reactor UASB.....	169
5.6.5. Costo real de inversión de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	171

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones.....	173
6.2. Recomendaciones.....	174
Bibliografía.....	176

INDICE DE CUADROS Y/O TABLAS

	Página
Cuadro I-1. Clasificación de los microorganismos.....	16
Cuadro II-1. Características de los ríos Santa Ana y Guadalquivir.....	46
Cuadro II-2. Características de los equipos para el tratamiento primario.....	69
Cuadro II-3. Comparación de las características de los procesos aeróbicos y anaeróbicos de tratamiento.....	70
Cuadro III-1. Parámetros de los efluentes industriales de cervecías.....	85
Cuadro IV-1. Las ventajas y desventajas en el uso de los reactores UASB.....	98
Tabla 1. Parámetros de las aguas residuales de la Industria Cervecera “CERVEUSUR S.R.L.”.....	4
Tabla I-1. Rango promedio de valores para aguas residuales de cervecía.....	6
Tabla I-2. Comparación de las características de los procesos aeróbicos y anaeróbicos de tratamiento.....	35
Tabla I-3. Características y datos técnicos correspondientes a las distintas configuraciones de reactores anaerobios.....	40
Tabla III-1. Balance hídrico de la empresa.....	82
Tabla III-2. Caudales del afluente de la Planta Cervecera “CERVEUSUR S.R.L.”.....	84
Tabla III-3. Resultados de las aguas residuales de la Planta Cervecera “CERVEUSUR S.R.L.”.....	87
Tabla V-1. Entrada y salida del efluente en el sistema de tratamiento de aguas residuales.....	111
Tabla V-2. Parámetros del efluente después del tratamiento.....	112
Tabla V-3. Velocidades de flujo.....	113
Tabla V-4. Espesores y espaciamientos de rejillas.....	114
Tabla V-5. Clasificación y tamaño de barras.....	115
Tabla V-6. Dimensiones del canal de rejillas sencillas de limpieza manual.....	119
Tabla V-7. Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación.....	123
Tabla V-8. Dimensiones del sedimentador rectangular.....	130

Tabla V-9. Dimensiones de la pantalla difusora	130
Tabla V-10. Dimensiones del tanque homogeneizador.....	136
Tabla V-11. Tiempos de retención hidráulica en rectores UASB.....	138
Tabla V-12. Velocidades Superficiales recomendadas para diseño de Reactores UASB, para el tratamiento de aguas residuales domésticas.....	138
Tabla V-13. Área de influencia de los Distribuidores (Ad) en Reactores UASB.....	139
Tabla V-14. Velocidades en las aberturas para el decantador.....	145
Tabla V-15. Carga de aplicación superficial y tiempos de retención hidráulica en el Compartimiento de sedimentación.....	145
Tabla V-16. Dimensiones del Reactor Anaerobio de Manto de Lodos y Flujo ascendente (UASB).....	149
Tabla V-17. Dimensiones del separador gas - sólido – líquido (GSL).....	150
Tabla V-18. Costo de construcción, accesorios y equipos del cribado de rejilla limpieza manual.....	166
Tabla V-19. Costo de construcción, accesorios y equipos del sedimentador rectangular.....	167
Tabla V-20. Costo de construcción, accesorios y equipos del tanque homogeneizador	169
Tabla V-21. Costo de construcción, accesorios y equipos del reactor UASB.....	170
Tabla V-22. Costo de inversión total de implementación.....	171
Tabla V-23. Factores de costo de inversión.....	172

INDICE DE FIGURAS Y/O FOTOS

	Página
Figura I-1. Sedimentadores rectangulares.....	21
Figura I-2. Sedimentadores circulares.....	22
Figura I-3. Flotación por aire disuelto (DAF)	24
Figura I-4. Filtración Ascendente	26
Figura I-5. Filtración Ascendente – Descendente.....	27
Figura I-6. Proceso biológico de contacto-estabilización.	30
Figura I-7. Diagrama de operación típico de un filtro percolador.....	32
Figura I-8. Esquema de la ruta de degradación anaerobia.....	34
Figura I-9. Reactor de contacto.....	36
Figura I-10. Reactor de manto de lodos y flujo ascendente (UASB).....	37
Figura I-11. Filtro anaerobio (FA).....	38
Figura I-12. Reactor anaerobio de lecho fluidizado (RALF).....	39
Figura I-13. Tratamiento de fangos.....	39
Figura II-1. Organización Industrial de la Empresa “CERVEUSUR S.R.L.”	43
Figura II-2. Diagrama de bloques de proceso productivo de cerveza “CERVEUSUR S.R.L.”	49
Figura II-3. Balanza.....	51
Figura II-4. Diagrama de flujo de la planta cervecera “CERVEUSUR S.R.L.”	65
Figura II-5. Distribución de la Planta Cervecera “CERVEUSUR S.R.L.”	67
Figura II-6. Efluentes generados.....	68
Figura II-7. Diagrama de bloques del sistema tratamiento de aguas residuales industriales para la planta cervecera “CERVEUSUR S.R.L.”.....	72
Figura IV-1. Zonificación de un sedimentador rectangular.....	91
Figura IV-2. Dos reactores UASB diseñados para operar a gran escala (izquierda) y a pequeña escala (derecha).....	95
Figura IV-3. Partes del Reactor Anaerobio de flujo ascendente UASB.....	96

Figura V-1. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales con un reactor UASB.....	102
Figura V-2. Diagrama de bloques del balance de materia del sistema del tratamiento de aguas residuales.....	103
Figura V-3. Dimensiones del canal de rejillas sencillas de limpieza manual (A).....	120
Figura V-4. Dimensiones del canal de rejillas sencillas de limpieza manual (B).....	120
Figura V-5. Dimensiones del sedimentador rectangular “Planta”.....	131
Figura V-6. Dimensiones del sedimentador rectangular “Corte longitudinal”.....	132
Figura V-7. Dimensiones de la pantalla difusora.....	133
Figura V-8. Dimensiones del tanque homogeneizador.....	136
Figura V-9. Separador GSL (Gas-Sólido-Líquido).....	144
Figura V-10. Dimensiones del Reactor Anaerobio de Manto de Lodos y Flujo ascendente (UASB) y del separador gas - sólido – líquido (GSL).....	151
Figura V-11. Posición del separador GSL dentro del reactor UASB.....	164
Figura V-12. Características de conexiones del cribado rejillas sencillas y limpieza manual.....	166
Figura V-13. Características de conexiones del sedimentador rectangular.....	167
Figura V-14. Características de conexiones del tanque homogeneizador.....	168
Foto II-1. Localización del proyecto de la industria cervecera “CERVEUSUR S.R.L.”.....	44
Foto II-2. Molino de rodillos.....	50
Foto II-3. Molino de martillos.....	51
Foto II-4. Tanque de maceración de adjuntos.....	52
Foto II-5. Tanque de maceración principal.....	53
Foto II-6. Cuba filtro.....	54
Foto II-7. Tanque de hervidor.....	56
Foto II-8. Tanque de fermentación.....	57
Foto II-9. Tanque de maduración.....	58
Foto II-10. Filtros de placa.....	58
Foto II-11. Carbonatación.....	59

Foto II-12. Lavador de botellas.....	60
Foto II-13. Llenado y coronado de botellas.....	60
Foto II-14. Llenadora de barriles	61
Foto II-15. Pasteurizador	61
Foto II-16. Chiller.....	62
Foto II-17. Cámara de refrigeración.....	63
Foto II-18. Caldera horizontal humotubular.....	63
Foto III-1. Lavado de silos.....	74
Foto III-2. Lavado de los tanques de cocimiento.....	77
Foto III-3. Lavado de tanques de fermentación y maceración.....	78
Foto III-4. Lavado de envases (cajas, botellas y barriles).....	79
Foto III-5. Lavado del pasteurizador.....	80
Foto III-6. Lavado de la cámara de refrigeración.....	81
Foto III-7. Efluentes generados de cerveza.....	86
Foto IV-1. Rejilla fija con limpieza manual.....	90

INDICE DE ANEXOS

	Página
ANEXO I Calidad y cantidad de las aguas residuales de la industria cervecera cerveusur s.r.l.....	182
ANEXO II Cotizacion para la inversion de la implementacion del sistema de tratamiento.....	201
ANEXO III Informe de ensayo del ceanid.....	204

ABREVIATURAS

- ARD: Aguas residuales domésticas.
- ARI: Aguas residuales industriales.
- CBN: Cervecería Boliviana Nacional.
- CEANID: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo.
- CEIM: Confederación de los empresarios madrileños.
- CERVEUSUR: Cervecerías Unidas del Sur.
- CIP: Cleaning in place -limpieza en lugar.
- DAF: Flotación por aire disuelto.
- DBO₅: Demanda bioquímica de oxígeno.
- DQO: Demanda química de oxígeno.
- EDAR: Estaciones depuradoras de aguas residuales.
- EPSAS: Empresa pública social de agua y saneamiento.
- FA: Filtro anaerobio.
- GA: Grasas y aceites.
- GLS: Gas-sólido-líquido.
- IAPP: Instancia Ambiental Dependiente de la Prefectura.
- PTAP: Plantas de tratamiento de agua potable.
- RAFA: Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente.
- RAI: Reglamento Ambiental Industrial.
- RALF: Reactor Anaerobio de Lecho Fluidizado.
- RASIM: Reglamento Ambiental del Sector Industrial Manufacturero.
- SBR: Reactor discontinuo secuencial.
- SRL: Sociedad régimen limitado.
- SDT: Sólidos disueltos totales.
- SST: Sólidos suspendidos totales.
- SSV: Sólidos suspendidos volátiles.
- ST: Sólidos totales.
- TA: Título alcalimétrico.
- TAC: Título alcalimétrico total.

- TH: Título hidrométrico.
- TL: Tanques de levadura.
- UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket.
- UNESCO: Organización de las naciones unidas para la educación, la ciencia y la cultura.
- ZONISIG: Proyecto zonificación agroecológica y establecimiento de una base de datos y red de sistema de información geográfica en Bolivia.

UNIDADES

- °: Grados
- ": Pulgadas
- °C: Grados centígrados
- cm: Centímetros
- cm²: Centímetros cuadrados
- g: gramos
- h: Hora
- Kg: Kilógramo
- Km: Kilómetro
- Km²: Kilómetro cuadrado
- kW: Kilovatios
- l: Litros
- m: Metros
- m²: Metros cuadrados
- m³: Metros cúbicos
- mg: Miligramos
- mm: Milímetros
- min: Minutos
- ppm: Partes por millón
- s: Segundos