

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

**ESTUDIO DE AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA
CERVERIA**

Por:

ALEXANDER GARCIA QUISPE

**Proyecto de Grado presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar
el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.**

Marzo de 2012

TARIJA-BOLIVIA

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.

A mis padres, que confiaron en mí,
y me dieron su mano en los
momentos más crítico de mi vida.

A mis hermanos, que me dieron
aliento y apoyo en los buenos y
malos momentos.

A Sandra, por ser una compañera y
estar conmigo a pesar a las
dificultades.

A mi hijo Matías, por ser la luz que
guía mi alma y ser el nidito de mi
felicidad.

Quiero dar gracias en primer lugar al divino creador por regalarme este momento de felicidad y por llenar de esperanza a mi vida.

A mi padre Demecio Garcia por su ayuda y por ser más que un padre un gran amigo.

A mi madre Dionicia Quispe por sus palabras de amor.

A mis hermanos Gustavo, Sonia, Carmen, Verónica, Anhiley que a pesar de la distancia que nos separan me ayudaron apreciar lo valioso que es una familia.

Al Ing. Héctor Quiroga por abrirme las puertas de la empresa y brindarme las herramientas para el desarrollo de este trabajo.

A mis tribunales Ing. Tejerina, Ing. Moreno y la Ing. Miriam Barrero por toda su colaboración y ayuda para finalizar este trabajo.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como principal objetivo desarrollar el Estudio de Ampliación del Sistema de Tratamiento de las Aguas Residuales de la Cervecería ASTRA, para resolver la problemática que está ocasionando ineficiencia en el actual Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales.

El trabajo consiste en desarrollar un primer diagnóstico general de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y un diagnóstico de cada una de las etapas del proceso de tratamiento. Esto para identificar las falencias que están ocasionando la baja remoción de la materia orgánica, el resultado del diagnóstico da a conocer que en el proceso de homogeneización se produce la acidificación de las aguas residuales desde pH 11 hasta un pH que varía entre 4,5-5, lo cual representa una mala condición para el desarrollo de la actividad metanogénica.

La Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, nos ayuda a realizar un análisis crítico sobre su funcionamiento ya que se observó que existe resuspensión de los sólidos decantados en los sedimentadores a causa de las subidas repentinas del caudal del agua residual las cuales arrastran los sólidos al tanque homogeneizador, también se observa que el tiempo de retención del Sistema de Tratamiento de las Aguas Residuales es alto, debido a las paradas de producción de Cerveza durante la noche y los fines de semana.

En función del Análisis Crítico se desarrolla acciones de control de los contaminantes, y la regulación de las condiciones de operación para el tratamiento anaerobio, que consiste en primer lugar de una limpieza general en la planta de tratamiento de aguas residuales, para luego desarrollar el crecimiento de las Bacterias Anaerobias utilizando como inóculo estiércol vacuno en el tanque fermentador y en

el BIORAB-100. Terminado la activación de las bacterias anaerobias se da paso de afluente de agua residual industrial corrigiendo de manera manual la eliminación de los sólidos orgánicos y el pH, lo que da como resultado en la remoción de la DQO un 69,6 % y DBO₅ un 60,9 %.

La mejora de la remoción de los sólidos y la neutralización del pH antes de ingresar al reactor anaerobio BIORAB-100, ayuda a mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales, por lo tanto es necesario instalar un tanque pulmón de aguas residuales que sea capaz de amortiguar las cargas del afluente y desarrollar un proceso continuo, además la instalación de un tanque que almacene y dosifique un agente neutralizante de pH del agua residual ya sea antes del ingreso al tanque Homogeneizador o antes del ingreso al reactor anaerobio BIORAB-100, con el fin de aumentar la alcalinidad del agua residual.

ÍNDICE

	Página
Advertencia.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Resumen.....	iv

INTRODUCCIÓN

Antecedentes.....	1
Definición del Problema.....	2
Justificación.....	3
Objetivos del Trabajo.....	3
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos.....	4
Fundamentación.....	5

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Conceptos de Aguas Residuales.....	6
---	---

1.1.1. Aguas Residuales Domésticas.....	6
1.1.2. Aguas Residuales Industriales.....	6
1.1.3. Aguas Residuales Agrícolas.....	6
1.2. Tratamiento de Aguas Residuales Industriales.....	7
1.2.1. Tratamiento Preliminar o Pretratamiento.....	8
1.2.1.1. Rejas.....	8
1.2.1.2. Tamizado.....	9
1.2.2. Tratamiento Primario.....	9
1.2.2.1. Sedimentación.....	9
1.2.2.2. Filtración.....	10
1.2.3. Tratamiento Secundario.....	10
1.2.3.1. Tratamiento Aerobio.....	11
1.2.3.2. Tratamiento Anaerobio.....	12
1.2.4. Tratamiento Avanzado.....	15
1.2.5. Desinfección.....	16
1.3. Parámetros que Rigen el Proceso Anaerobio.....	17
1.3.1. Temperatura.....	17
1.3.2. Potencial de Hidrógeno (pH).....	18
1.3.3. Alcalinidad.....	19
1.3.4. Ácidos Grasos Volátiles.....	19
1.3.5. Nutrientes.....	20
1.3.6. Compuestos Tóxicos.....	20
1.3.7. Bacterias Adecuadas.....	22

1.3.8. Inhibición del Proceso Anaerobio.....	22
1.4. Fuente y Caracterización de Residuos Líquidos de la Cervecería ASTRA.....	23
1.4.1. Componentes de las Aguas Residuales.....	23
1.4.2. Características de las Aguas Residuales.....	24
1.5. Parámetros Fisicoquímicos Considerados para Evaluar la PTAR.....	25
1.5.1. Temperatura.....	25
1.5.2. pH.....	26
1.5.3. Sólidos Sedimentables.....	26
1.5.4. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	26
1.5.5. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	26
1.5.6. Sólidos Suspendidos (SS).....	27

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1. Ubicación Geográfica de la Cervecería ASTRA.....	28
2.2. Ubicación Geográfica de la Planta de Tratamiento de las Aguas Residuales.....	29
2.3. Origen de las Aguas Residuales en la Cervecería ASTRA.....	29
2.3.1. Área de Cocimiento.....	29
2.3.1.1. Limpieza en el Área de Cocimiento.....	30
2.3.1.1.1. Lavado de Cuba Filtro.....	31
2.3.1.1.2. Lavado del Sedimentador Whirpool.....	32

2.3.2. Área de Fermentación.....	33
2.3.2.1. Limpieza en el Área de Fermentación.....	34
2.3.2.1.1. Lavado del Tanque de Fermentación.....	34
2.3.3. Área de Maduración.....	35
2.3.3.1. Limpieza del Área de Maduración.....	36
2.3.3.1.1. Lavado de Tanque de Maduración.....	36
2.3.4. Área de Filtración.....	37
2.3.4.1. Limpieza del Filtro de Cerveza.....	37
2.3.5. Área de Embotellado.....	38
2.3.5.1. Lavadora de Botellas.....	39
2.3.5.2. Pasteurizador.....	40
2.3.5.3. Bomba de Vacío.....	41
2.4. Descripción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Cervecería ASTRA.....	44
2.4.1. Sedimentación.....	46
2.4.1.1. Sedimentación Primaria.....	46
2.4.1.1.1. Características de Funcionamiento.....	47
2.4.1.1.2. Características de Diseño.....	47
2.4.1.2. Preclarificación.....	49
2.4.1.2.1 Características de Funcionamiento.....	49
2.4.1.2.2. Características de Diseño.....	50
2.4.2. Homogeneizador.....	51
2.4.2.1. Características de Funcionamiento.....	51
2.4.2.2. Características de Diseño.....	51

2.4.3. Fermentador.....	53
2.4.3.1. Características de Funcionamiento.....	54
2.4.3.2. Características de Diseño.....	54
2.4.4. Reactor Biológico Anaerobio (BIORAB-100).....	55
2.4.4.1. Características de Diseño.....	56

CAPÍTULO III

DETERMINACIÓN DEL AFLUENTE Y EFLUENTE DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN Y PARAMETROS FISICOQUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS DEL AFLUENTE

3.1. Determinación del Afluente y Efluente en la Planta de Producción de Cerveza.....	59
3.1.1. Determinación del Afluente.....	59
3.1.2. Determinación del Efluente.....	59
3.2. Parámetros Fisicoquímicos y Microbiológicos.....	61

CAPÍTULO IV

DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS CRÍTICO Y ACCIONES CORRECTIVAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

4.1. Diagnóstico del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales.....	67
--	----

4.1.1. Diagnóstico Inicial del Sistema de Tratamiento.....	67
4.1.2. Diagnóstico Diferenciado de los Procesos de Tratamiento.....	69
4.1.3. Conclusión del Diagnostico.....	72
4.2. Análisis Crítico de los Procesos Diferenciados.....	72
4.2.1. Proceso de Sedimentación.....	73
4.2.2. Proceso de Homogeneización.....	74
4.2.2.1. Estequiometria de Reacción de Acidificación de las Aguas Residuales.....	77
4.2.3. Proceso de Fermentación.....	79
4.2.4. Proceso de Degradación Anaerobia.....	81
4.2.5. Prueba de Actividad Metanogénica.....	81
4.2.5.1 Prueba de Actividad Metanogénica del Lodo del Tanque de Fermentador...82	
4.2.5.2. Prueba de Actividad Metanogénica del Lodo del BIORAB-100.....	83
4.2.6. Conclusión del Análisis Crítico.....	86
4.3. Acciones Correctivas Ejecutadas en la Planta de Tratamiento de las Aguas Residuales.....	86
4.3.1. Proceso de Sedimentación.....	89
4.3.2. Proceso de Homogeneización.....	89
4.3.3. Proceso de Fermentación.....	90
4.3.4. Proceso de Digestión Anaerobia BIORAB-100.....	90
4.3.5. Conclusión de las Acciones de Correctivas.....	93

CAPÍTULO V

ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN Y COSTO DE LA AMPLIACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

5.1. Alternativas de Solución.....	94
5.1.1. Tanque Pulmón de Aguas Residuales.....	94
5.1.1.1. Determinación de Volumen del Tanque Pulmón.....	95
5.1.1.1.1. Balance del Flujo Volumétrico en el Tanque Pulmón.....	95
5.1.1.2. Dimensiones del Tanque Pulmón de Aguas Residuales.....	98
5.1.1.2.1. Ecuaciones para el Diseño del Tanque Pulmón.....	98
5.1.1.2.1.1. Calculo del Área Superficial.....	99
5.1.1.2.1.2. Calculo de la Altura del Tanque Pulmón.....	99
5.1.1.2.2. Zona de Entrada del Tanque Pulmón.....	101
5.1.1.2.2.1. Criterios de Diseño de la Pantalla Difusora.....	102
5.1.1.2.2.2. Diseño de la Pantalla Difusora.....	103
5.1.1.2.3. Zona de Recolección de Lodo del Tanque Pulmón.....	105
5.1.1.2.4. Construcción del Tanque Pulmón.....	107
5.1.1.3. Diseño de Bomba para Aguas Residuales.....	108
5.1.1.3.1. Ecuaciones para el Diseño de Bomba.....	108
5.1.1.3.1.1. Trabajo de Bomba en la ecuación de Bernoulli.....	109
5.1.1.3.1.2. Numero de Reynolds.....	109
5.1.1.3.1.3. Factor de Rozamiento (f).....	110
5.1.1.3.1.4. Longitud equivalente Total.....	110
5.1.1.3.1.5. Perdidas por Fricción (hf).....	110

5.1.1.3.2. Calculo de la Potencia de la Bomba.....	111
5.1.2. Tanque Pulmón para Hidróxido de Sodio NaOH.....	112
5.1.2.1. Diseño del Tanque de Almacenamiento de NaOH.....	113
5.1.2.1.1. Determinación del Volumen del Tanque de NaOH.....	113
5.1.2.1.2. Dimensión del Tanque de NaOH.....	114
5.1.2.2. Sistema de Control de pH.....	116
5.1.3. Balance de Materia del Nuevo Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Cervecería ASTRA.....	117
5.2. Costo de Ampliación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	121
5.2.1. Tanque Pulmón de Aguas Residuales.....	121
5.2.1.1. Determinación del Precio Final de la Obra Civil.....	121
5.2.2. Tanque Pulmón del Agente Neutralizante.....	122
5.2.3. Costo Real de Inversión.....	125

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones.....	126
6.2. Recomendaciones.....	128
Bibliografía.....	130

ANEXOS

Anexo.1. Datos Recolectados en la Cervecería ASTRA.....	134
Anexo.2. Cálculo de Diseño del Tanque Pulmón de Aguas Residuales.....	138
Anexo.3. Parámetros Fisicoquímicos Determinados en el Laboratorio de Aguas Residuales de la Cervecería ASTRA.....	147
Anexo.4. Parámetros Fisicoquímicos Determinados en los Laboratorios de CEANID, COSAALT y APROTEC.....	155

ÍNDICE DE CUADROS Y/O TABLAS

Cuadro I-1 Operaciones o Procesos Unitarios Según el Nivel de Tratamiento de Aguas.....	8
Cuadro I-2 Operaciones y Procesos Unitarios y Sistemas de Tratamiento Utilizados para Eliminar la Mayoría de los Contaminantes Presentes en el Agua Residual.....	16
Cuadro I-3 Etapas, Componentes, Parámetros de las Aguas Residuales.....	23
Tabla I-1 pH Optimo en la Producción de Biogás.....	19
Tabla I-2 Caracterización del Agua Residual sin Tratar.....	24
Tabla I-3 Valores Aproximados de Referencia para Algunos Parámetros de las Aguas Residuales en las Cervecerías.....	25
Tabla II-1 Característica Fisicoquímica del Turbio.....	33
Tabla II-2 Concentración de los Componentes Contaminantes de Fermentación y Maduración.....	36
Tabla II-3 Características Fisicoquímicas de las Aguas Residuales del Área de Envasado.....	42
Tabla II-4 Caudales Promedio de Aguas Residuales Generados en la Operación de Limpieza.....	43
Tabla II-5 Características del Agua Residual que Ingresan al Sedimentador Primario.....	48
Tabla II-6 Características del Agua Residual de Salida del Tanque Homogeneizador.....	52
Tabla II-7 Características del agua Residual de Salida del Tanque Fermentador.....	55
Tabla II-8 Valores Promedio del Agua Residual de Salida del BIORAB-100.....	58
Tabla III-1 Caudal del Afluente de la Planta de Tratamiento de Aguas	

Residuales.....	60
Tabla III-2 Promedio Mensual de las Características Fisicoquímicas y Microbiológicas del Afluente.....	62
Tabla IV-1 Caracterización Fisicoquímica del Afluente y Efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	68
Tabla IV-2 Características Fisicoquímicas del 30 de Julio 2010.....	71
Tabla IV-3 Características Fisicoquímicas del 11 de Agosto del 2010.....	72
Tabla IV-4 Velocidades Medias de Ingreso al Sedimentador Primario.....	74
Tabla IV-5 Registros de pH de las Aguas Residuales del Tanque Homogeneizador.....	76
Tabla IV-6 Características Fisicoquímicas del Lodo Anaerobio del Fermentador....	82
Tabla IV-7 Características Fisicoquímica del Lodo de la Cámara 2 del BIORAB-100.....	83
Tabla IV-8 Características Fisicoquímicas del Lodo de la Cámara 8 del BIORAB-100.....	84
Tabla IV-9 Características Fisicoquímicas de las Aguas Residuales en cada uno de los Procesos.....	92
Tabla IV-10 Característica Fisicoquímica de las Aguas Residuales en cada uno de los Procesos.....	93
Tabla V-1 Parámetros Utilizados para Calcular el Volumen del Tanque Pulmón....	96
Tabla V-2 Valor de los Flujos del Tanque Pulmón.....	97
Tabla V-3 Resultado del Balance del Flujo Volumétrico.....	98
Tabla V-4 Dimensionamiento del Tanque Pulmón.....	100
Tabla V-5 Parámetros de Diseño de la Pantalla Difusora.....	105
Tabla V- 6 Parámetros de la Zona de recolección de Lodos.....	106
Tabla V-7 Parámetros Utilizados para Determinar la Potencia de la Bomba.....	111

Tabla V-8 Concentración y Molar de las Soluciones de Hidróxido de Sodio.....	113
Tabla V-9 Dimensiones del Tanque Pulmón de NaOH.....	116
Tabla V-10 Parámetros para el balance de masa en el sistema de Tratamiento.....	117
Tabla V-11 Resultados de los Balances del flujo Másico en el Nuevo Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Cervecería ASTRA.....	119
Tabla V-12 Costos de la Construcción del Tanque Pulmón.....	121
Tabla V-13 Costos de Equipos auxiliares y Accesorios del Tanque Pulmón.....	122
Tabla V-14 Costo de Construcción del Tanque de Hidróxido de Sodio.....	123
Tabla V-15 Costos de Equipos Auxiliares y Accesorios del Tanque de Hidróxido de Sodio.....	124
Tabla V-16 Costo de Inversión Total de la Instalación.....	124
Tabla V-17 Costos de Inversión del Tanque Pulmón de Aguas Residuales e Hidróxido de Sodio.....	125

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1-1 Esquema General de la Oxidación Biológica Aerobia.....	12
Fig.1-2 Proceso de Digestión Anaerobia.....	15
Fig. 2-1 Fabrica Cervecería ASTRA.....	28
Fig.2-2 Diagrama del Proceso de Elaboración de Mosto.....	31
Fig. 2-3 Residuo de mosto del Sedimentador Whirlpool.....	32
Fig. 2-4 Limpieza del Sedimentador Whirlpool.....	33
Fig. 2-5 Diagrama del Proceso de Fermentación.....	34

Fig. 2-6 Tanque Cónico de Fermentación.....	35
Fig. 2-7 Diagrama de Proceso de Maduración.....	35
Fig. 2-8 Diagrama del proceso de Filtración de Cerveza.....	37
Fig. 2-9 Filtro de Cerveza.....	38
Fig. 2-10 Diagrama del Proceso de Embotellado de Cerveza.....	39
Fig. 2-11 Agua Residual de salida de la lavadora de Botellas.....	40
Fig. 2-12 Cedazo de Retención de Sólidos de la Lavadora de Botellas.....	40
Fig. 2-13 Agua Residual del Proceso de Pasteurización.....	41
Fig. 2-14 Bomba de Vacío.....	42
Fig. 2-15 Procesos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	44
Fig. 2-16 Diagrama de Bloques de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Existente.....	45
Fig. 2-17 Sedimentador Primario.....	46
Fig. 2-18 Cámara del sedimentador Primario.....	47
Fig. 2-19 Entrada al Preclarificador.....	49
Fig. 2-20 Cámara Preclarificador.....	50
Fig. 2-21 Tanque Homogeneizador.....	52
Fig. 2-22 Tanque Homogeneizador y Fermentador.....	53
Fig. 2-23 Dimensiones del Tanque Fermentador.....	54
Fig. 2-24 Sistema Anaerobio BIORAB-100.....	56
Fig. 2-25 BIORAB-100 Vista Superior.....	57
Fig. 2-26 BIORAB-100 Vista Frontal.....	57
Fig. 3-1 Temperatura del Afluente.....	63
Fig. 3-2 pH del Afluente.....	63

Fig. 3-3 Sólidos en Suspensión del Afluente.....	64
Fig. 3-4 Sólidos Sedimentables del Afluente.....	64
Fig. 3-5 Sólidos Totales del Afluente.....	65
Fig. 3-6 Demanda Biológica de Oxígeno del Afluente.....	65
Fig. 3-7 Demanda Química de Oxígeno del Afluente.....	66
Fig. 4-1 Toma de Muestra en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	70
Fig. 4-2 Producción de Metano del Lodo Anaerobio del Tanque Fermentador.....	82
Fig. 4-3 Producción de Metano del Lodo Anaerobio de la Cámara 2 del BIORAB-100.....	84
Fig. 4-4 Producción de Metano del Lodo Anaerobio de la Cámara 8 del BIORAB-100.....	85
Fig. 4-5 Limpieza del Digestor Anaerobio BIORAB-100.....	87
Fig. 5-1 Corrientes de Flujo Volumétrico en el Tanque Pulmón.....	95
Fig. 5-2 Dimensiones del Tanque Pulmón.....	100
Fig. 5-3 Trayectorias Usuales de Flujo en Tanques de Sedimentación Rectangulares.....	101
Fig. 5-4 Características de la Pantalla Difusora en un Sedimentador.....	103
Fig. 5-5 Estructura Física del Tanque Pulmón de Aguas Residuales.....	107
Fig. 5-6 Diagrama de Flujo del Tanque Pulmón de Aguas Residuales.....	108
Fig. 5-7 Dimensiones del Tanque Pulmón de NaOH.....	115
Fig. 5-8 Diagrama de Flujo del Nuevo Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales.....	118
Fig. 5-9 Nueva Configuración del Sistema de Tratamiento de Aguas residuales...	120

NOMENCLATURA Y ABREVIATURAS

pH = Potencial de hidrogeno

AGVs = Ácidos Grasos Volátiles

DQO = Demanda Química de Oxígeno

DBO = Demanda Biológica de Oxígeno

Ss = Sólidos en Suspensión

S.T = Sólidos Totales

SV = Sólidos Volátiles

APROTEC = Tecnología para Protección Ambiental

COSAALT = Cooperativa de Servicios de Aguas y Alcantarillados Tarija

PTAR = Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

NMP = Numero más Probable

TRH = Tiempo de Residencia Hidráulico

C-1 = Primera Cámara de Sedimentación

C-2 = Segunda Cámara de Sedimentación

T-M = Tanque de Maduración

T-F = Tanque Fermentador

Q_e = Caudal de Entrada

Q_s = Caudal de Salida

Q_a = Caudal Acumulado

V_a = Volumen Acumulado

A_s = Área Superficial del Tanque Pulmón de Aguas Residuales.

L_{TP} = Longitud del Tanque Pulmón de Aguas Residuales

W_{TP} = Ancho del Tanque Pulmón de Aguas Residuales

H_{TP} = Altura del tanque pulmón de Agua residuales

V_{TP} = Volumen del Tanque Pulmón de Aguas Residuales

CEPIS = Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente

OPS = Organización Panamericana de la Salud

V₀ = Velocidad de ingreso por los orificios de la plancha difusora

A_0 = Área Total de los Orificios que Componen la Plancha Difusora

a_0 = Área de orificio de la Plancha Difusora

d_0 = Diámetro de orificio de la Plancha Difusora

n = Número de orificios de la Plancha Difusora

h = Altura de la Plancha Difusora

a_1 = Espaciamiento entre Filas

a_2 = Espaciamiento entre Columnas

L_s = Longitud de Sedimentación del Tanque Pulmón de Aguas Residuales

d_{pd} = Distancia entre la Pared y la Plancha Difusora

H_m = Altura Máxima del Tanque Pulmón de Aguas Residuales

Re = Número de Reynolds

ρ_{ar} = Densidad del Agua Residual a 25 °C.

V_m = Velocidad media

D_t = Diámetro del Tubo

μ = Viscosidad del agua Residual a 25°C

L_E = Longitud equivalente Total

L_{et} = Longitud equivalente de Tubería

L_{ea} = Longitud Equivalente de Accesorios

hf = Perdidas por Fricción.

g = Gravedad

f = Factor de Fricción

hs = Altura Manométrica

P_1 y P_2 = Presión en distintos puntos

V_{NaOH} = Volumen de Hidróxido de Sodio

V_{AR} = Volumen de Aguas Residuales Neutralizada

V_{TH} = Volumen del tanque Pulmón de Hidróxido de Sodio

R_{TH} = Radio del Tanque Pulmón de Hidróxido de Sodio

H_{TH} = Altura del Tanque Pulmón de Hidróxido de Sodio

A_{TH} = Área del Tanque Pulmón de Hidróxido de Sodio

M = Molaridad

V_m = Volumen del muro de Gravedad

L_m = Longitud del muro de Gravedad

H_m = Altuta del muro de Gravedad

B1= Base menor del muro de Gravedad

B2= Base mayor del muro de Gravedad

V_{mt}= Volumen total del muro de Gravedad

V_{pt}= Volumen de Plataforma del Tanque Pulmón.

V_{HC}= Volumen de Hormigón Ciclópeo

Unidades

°C= grados Celsius unidad de Temperatura **m²**= metro cuadrado unida de Área

Bs= Moneda Boliviana

mg= miligramo unidad de masa

Kg= kilogramo unidad de masa

ml= mililitro unidad de volumen

l= litro unidad de volumen

m³= metro cubico unidad de volumen

m= metro unidad de Longitud

s= segundos unidad de tiempo

h= hora unidad de tiempo

d= día unida de tiempo