



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PTAR POR LODOS
ACTIVOS A ESCALA DE LABORATORIO, FACULTAD DE
CIENCIAS - ESPOCH”**

Tesis de Grado Previo a la Obtención del Título de:

INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

CASTILLO REINOSO ANA MARÍA

GUERRA HUILCA MARÍA JOSÉ

Riobamba-Ecuador

2014

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis padres Luis y Martha quienes me han sido mi ejemplo a seguir y mi apoyo en todo momento, son los mejores papás!

A mis hermanos Felipe y Karla quienes han sido mi apoyo incondicional y nunca me han dejado sola.

A mis papis Wilson, Ramiro, Romo y a mis mamás Tere y Adri por haberme cuidado siempre y haber estado pendientes de mí en todo momento brindándome su apoyo total, sincero y lleno de amor, también a Maru por aconsejarme y estar de igual manera en los momentos buenos y malos.

Y en especial a mis chiquitos Martin y Arseth por ser mi fuerza para seguir adelante, todo esfuerzo ha sido y será siempre por ellos, les amo mis muñequitos bellos!!

María José Guerra

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi mami María Reinoso quien es la persona más importante en mi vida que me ha brindado su apoyo incondicional, su amor, su comprensión y gracias a ella con su esfuerzo hoy puedo culminar una meta más.

A mi mami Clari y a mi papi Humberto quienes nunca me han dejado sola, y me han brindado todo su amor.

A mis tíos Miguel, Paty, Eduardo y Gladys quienes me han dado ánimos para seguir adelante y a pesar de la distancia siempre han estado pendiente de mi y a mis chiquitos hermosos mis primos Miguelito y Gaby que con su ternura y sus ocurrencias han llenado mi vida de alegría.

A Tania, Lucy y Alex quienes han estado presentes en todo momento de mi vida brindándome su amistad incondicional.

Anita Castillo

AGRADECIMIENTOS

A Dios por habernos dado sus bendiciones y haber guiado nuestro camino, permitiéndonos cumplir una meta más en nuestra vida.

A nuestros padres que nunca nos dejaron solas y en todo momento nos han brindado su apoyo.

A nuestros amigos Marcelo Ausay, Mecías Chacha e Iván Lema por habernos colaborado de forma desinteresada durante el desarrollo de nuestra tesis.

A los doctores Robert Cazár y Gerardo León quienes con sus conocimientos nos han guiado y ayudado a llevar a cabo este proyecto de tesis.

A la Quesera Llin llín Pucará por la apertura brindada.

Anita Castillo

María José Guerra

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

El Tribunal de Tesis certifica que: El trabajo de investigación: “**Diseño e Implementación de una PTAR por Lodos Activos a Escala De Laboratorio, Facultad De Ciencias - ESPOCH**”, de responsabilidad de las Egresadas Srta. Ana María Castillo Reinoso y Srta. María José Guerra Huilca ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

| NOMBRE | FIRMA | FECHA |
|---|--------------|--------------|
| Dr. Silvio Álvarez DECANO FAC. CIENCIAS | | |
| Dra. Nancy Veloz DIR. ESCUELA CIENCIAS QUÍMICAS | | |
| Dr. Robert Cazar DIRECTOR DE TESIS | | |
| Dr. Gerardo León MIEMBRO DEL TRIBUNAL | | |
| Ing. Ma. Fernanda Rivera MIEMBRO DEL TRIBUNAL | | |
| DIRECTOR CENTRO DOCUMENTACIÓN | | |
| NOTA DE TESIS ESCRITA | | |

Yo, Ana María Castillo Reinoso, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado, pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

ANA MARIA CASTILLO REINOSO

Yo, María José Guerra Huilca, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado, pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

MARIA JOSE GUERRA HUILCA

INDICE DE ABREVIATURAS

| | |
|--------------------------------|---|
| A | Área |
| Al ₂ O | Óxido de Aluminio |
| A/M | Relación Alimento – Microorganismo |
| B | Ancho |
| °C | Grado Centígrado |
| cm | Centímetro |
| CO ₂ | Dióxido de Carbono |
| CoCl ₂ | Cloruro de Cobalto |
| COV | Carga Orgánica Volumétrica |
| Cs | Carga de Sólidos |
| Cs (Kla) | Concentración de Saturación |
| Csr (Kla) | Concentración de Saturación en el Agua Residual |
| h | Hora |
| DBO | Demanda Bioquímica de Oxígeno |
| DBOe | Demanda Bioquímica de Oxígeno del Efluente |
| DO | Demanda de Oxígeno |
| DQO | Demanda Química de Oxígeno |
| E | Eficiencia |
| g | Gramo |
| GAC | Carbón Activado Granular |
| H | Profundidad |
| H ₂ O | Agua |
| HClO | Ácido Hipocloroso |
| HP | Horse Power |
| H ₃ PO ₄ | Ácido Fosfórico |
| IVL | Indice Volumétrico de Lodos |

| | |
|---------------------------------|--|
| J | Joule |
| ⁰ K | Grados Kelvin |
| K | Potasio |
| Kd | Coefficiente Cinético |
| kg | Kilogramo |
| Kla | Coefficiente de Transferencia de Oxígeno |
| L | Litro |
| l | Longitud |
| M | Masa Molecular del Gas |
| m | Metro |
| m ² | Metro cuadrado |
| m ³ | Metro cúbico |
| mm | Milímetro |
| mg | Miligramo |
| N | Nitrógeno |
| Na ₂ SO ₃ | Sulfito Sódico |
| NH ₃ | Amoníaco |
| nm | nanómetro |
| O ₂ | Oxígeno Diatómico |
| OD | Oxígeno Disuelto |
| P | Potencia |
| P _{abs} | Presión Absoluta |
| P _{Atm} | Presión Atmosférica |
| PAC | Carbon Activado en Polvo |
| pH | Potencial de Hidrógeno |
| P _{H2O} | Presión Hidrostática |
| ppm | Partes por Millón |
| PVC | Cloruro de Polivinilo |

| | |
|------------------------|---|
| Px | Producción de Lodos |
| PTAR | Planta de Tratamiento de Aguas Residuales |
| Q | Caudal |
| Q _{aire} | Caudal de Aire |
| Q _{aire real} | Caudal de Aire real |
| Q _{max} | Caudal Máximo |
| Q _{medio} | Caudal Medio |
| Q _r | Caudal de Recirculación |
| Q _w | Tasa de Purga de Lodos |
| R% | Relación de Circulación |
| S | Pendiente |
| s | Segundo |
| Se | DBO del efluente |
| SiO ₂ | Óxido de Silicio |
| So | DBO del agua residual tratada |
| SS | Sólidos Suspendidos |
| SSLM | Sólidos Suspendidos en el Licor Mezcla |
| SSTLM | Sólidos Suspendidos Totales en el Licor Mezcla |
| SSV | Sólidos Suspendidos Volátiles |
| SSVLM | Sólidos Suspendidos Volátiles en el Licor Mezcla |
| t | Tiempo |
| Tg | Tangente |
| TRH | Tiempo de Retención Hidráulica |
| TRMC | Tiempo de Retención Media Celular |
| Ts | Tasa Superficial |
| TULAS | Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria |
| U | Tasa específica de Utilización del Sustrato |
| UFC | Unidades Formadoras de Colonias |

| | |
|-----------------|---|
| ULA | Universidad de los Andes - Venezuela |
| V | Volumen |
| v | Velocidad |
| V ₃₀ | Volumen de Lodo Sedimentado en 30 minutos en una probeta de 1 litro |
| V _r | Volumen del Reactor |
| X | Concentración de Sólidos Suspendidos Volátiles en el tanque de aireación. |
| X _e | Concentración de Sólidos Suspendidos Volátiles en el efluente tratado. |
| X _r | Concentración de Sólidos Suspendidos Volátiles en el lodo dispuesto |
| X _T | Concentración de Sólidos Suspendidos Totales en el Licor Mezcla |
| XV | Biomasa del Reactor |
| Y | Coefficiente Cinético |
| α | Relación de la Tasa de Transferencia de Oxígeno en Agua Residual a Agua Potable. |
| β | Relación de Concentración de Saturación de Oxígeno Disuelto en el Agua Residual a la del Agua Potable |
| γ | Razón de Calores Específicos del Gas |
| ρ | Densidad |

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN..... | 1 |
| INTRODUCCIÓN | 3 |
| JUSTIFICACIÓN | 5 |
| ANTECEDENTES..... | 6 |
| OBJETIVOS | 10 |
| | |
| CAPITULO I..... | 12 |
| 1. MARCO TEÓRICO | 12 |
| 1.1 AGUA RESIDUAL | 12 |
| 1.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES | 12 |
| 1.1.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS..... | 12 |
| 1.1.1.1.1 OLORES | 12 |
| 1.1.1.1.2 TEMPERATURA | 13 |
| 1.1.1.1.3 DENSIDAD | 14 |
| 1.1.1.1.4 COLOR..... | 14 |
| 1.1.1.1.5 TURBIEDAD..... | 15 |
| 1.1.1.1.6 SÓLIDOS..... | 15 |
| 1.1.1.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS..... | 16 |
| 1.1.1.2.1 MATERIA ORGÁNICA | 16 |
| 1.1.1.2.2 HIDRATOS DE CARBONO..... | 16 |
| 1.1.1.2.3 DBO | 16 |
| 1.1.1.2.4 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO | 17 |
| 1.1.1.2.5 OXÍGENO DISUELTO OD | 17 |
| 1.1.1.2.6 GRASAS Y ACEITES..... | 18 |
| 1.1.1.2.7 PH..... | 18 |
| 1.1.1.2.8 DETERGENTES..... | 19 |
| 1.1.1.3 CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS | 19 |
| 1.1.1.3.1 MICROORGANISMOS PATÓGENOS..... | 19 |
| 1.1.1.3.2 BACTERIAS..... | 19 |
| 1.1.1.3.3 VIRUS..... | 20 |
| 1.1.1.3.4 PROTOZOARIOS | 20 |

| | | |
|------------|--|----|
| 1.1.2 | TIPOS DE AGUAS RESIDUALES | 20 |
| 1.1.2.1 | AGUAS RESIDUALES URBANAS..... | 21 |
| 1.1.2.2 | AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES | 21 |
| 1.1.3 | CONTAMINANTES DE IMPORTANCIA EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL | 22 |
| 1.1.4 | TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES | 23 |
| 1.1.4.1 | TRATAMIENTOS PRIMARIOS | 24 |
| 1.1.4.1.1 | MALLAS O BARRERAS | 24 |
| 1.1.4.1.2 | ELIMINACIÓN DE ACEITE Y GRASAS | 24 |
| 1.1.4.1.3 | SEDIMENTACIÓN..... | 24 |
| 1.1.4.2 | TRATAMIENTOS SECUNDARIOS | 25 |
| 1.1.4.3 | TRATAMIENTOS TERCARIOS | 26 |
| 1.1.4.3.1 | ÓSMOSIS INVERSA | 27 |
| 1.1.4.3.2 | ELECTRODIÁLISIS | 27 |
| 1.1.4.3.3 | DESTILACIÓN | 27 |
| 1.1.4.3.4 | COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN..... | 27 |
| 1.1.4.3.5 | ADSORCIÓN | 28 |
| 1.1.4.3.6 | FILTRACIÓN..... | 28 |
| 1.1.4.3.7 | EXTRACCIÓN POR SOLVENTE..... | 28 |
| 1.1.4.3.8 | INTERCAMBIO IÓNICO | 28 |
| 1.1.4.3.9 | OXIDACIÓN QUÍMICA..... | 29 |
| 1.1.4.3.10 | PRECIPITACIÓN..... | 29 |
| 1.1.4.3.11 | NITRIFICACIÓN – DESNITRIFICACIÓN | 29 |
| 1.1.5 | TRATAMIENTO POR LODOS ACTIVADOS | 30 |
| 1.1.5.1 | VARIACIONES DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS | 32 |
| 1.1.5.2 | OPERACIÓN BÁSICA | 35 |
| 1.1.5.3 | FACTORES RELACIONADOS CON EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS | 36 |
| 1.1.5.4 | MICROORGANISMO EN EL PROCESO DE LODOS ACTIVOS | 38 |
| 1.1.5.5 | TIPOS DE LODOS ACTIVADOS | 41 |
| 1.1.5.5.1 | CONVENCIONAL | 41 |
| 1.1.5.5.2 | DE MEZCLA COMPLETA | 41 |
| 1.1.5.5.3 | LODOS DE AIREACIÓN PROLONGADA O EXTENDIDA..... | 42 |

| | | |
|------------|---|----|
| 1.1.5.5.4 | LODOS DE FLUJO PISTÓN | 42 |
| 1.1.5.6 | DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA..... | 43 |
| 1.1.5.7 | SISTEMAS DE AIREACIÓN | 43 |
| 1.1.5.8 | PARÁMETROS DE DISEÑO Y CONTROL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA POR LODOS ACTIVOS A ESCALA DE LABORATORIO | 47 |
| 1.1.5.8.1 | PARÁMETROS TÍPICOS PARA EL DISEÑO DE REACTORES DE LODOS ACTIVADOS..... | 48 |
| 1.1.5.8.2 | REQUISITOS NUTRICIONALES..... | 48 |
| 1.1.5.8.3 | CAUDAL DEL AGUA..... | 49 |
| 1.1.5.8.4 | DBO DEL EFLUENTE | 49 |
| 1.1.5.8.5 | BIOMASA EN EL REACTOR..... | 50 |
| 1.1.5.8.6 | VOLUMEN DEL REACTOR | 50 |
| 1.1.5.8.7 | TIEMPO MEDIO DE RETENCIÓN HIDRAÚLICA | 50 |
| 1.1.5.8.8 | TIEMPO MEDIO DE RETENCIÓN CELULAR (EDAD DE LODOS) | 51 |
| 1.1.5.8.9 | PRODUCCIÓN DE LODO | 51 |
| 1.1.5.8.10 | PRODUCCIÓN DE SÓLIDOS TOTALES DE DESECHO | 52 |
| 1.1.5.8.11 | CAUDAL DE LOS LODOS DE DESECHO | 52 |
| 1.1.5.8.12 | CAUDAL DE RECIRCULACIÓN | 53 |
| 1.1.5.8.13 | RELACIÓN DE RECIRCULACIÓN | 53 |
| 1.1.5.8.14 | INDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS IVL..... | 53 |
| 1.1.5.8.15 | CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA (COV)..... | 54 |
| 1.1.5.8.16 | RELACIÓN ALIMENTO MICROORGANISMO | 54 |
| 1.1.5.8.17 | DEMANDA DE OXÍGENO..... | 54 |
| 1.1.5.8.18 | CAUDAL DE AIRE EN CONDICIONES NORMALES | 55 |
| 1.1.5.8.19 | CAUDAL DE AIRE REAL | 55 |
| 1.1.5.8.20 | VOLUMEN DE AIRE REQUERIDO POR UNIDAD DE DBO APLICADA AL TANQUE DE AIREACIÓN..... | 55 |
| 1.1.5.8.21 | VOLUMEN DE AIRE REQUERIDO POR UNIDAD DE DBO REMOVIDA | 55 |
| 1.1.5.8.22 | EFICIENCIA EN REMOCIÓN DE DBO TOTAL | 56 |
| 1.1.5.8.23 | EFICIENCIA EN REMOCIÓN DE DBO SOLUBLE | 56 |
| 1.1.5.8.24 | TASA ESPECÍFICA DE UTILIZACIÓN DEL SUSTRATO..... | 57 |

| | | |
|-----------------------------------|---|-----------|
| 1.1.5.8.25 | DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES CINÉTICOS EN REACTORES DE MEZCLA COMPLETA | 57 |
| 1.1.5.8.26 | DISEÑO DEL SEDIMENTADOR SECUNDARIO | 58 |
| 1.1.5.8.26.1 | TASA SUPERFICIAL | 59 |
| 1.1.5.8.26.2 | CARGA DE SÓLIDOS..... | 59 |
| 1.1.5.8.26.3 | PROFUNDIDAD DEL SEDIMENTADOR..... | 60 |
| 1.1.5.8.26.4 | VOLUMEN DEL SEDIMENTADOR..... | 61 |
| 1.1.5.8.26.5 | ÁREA DEL SEDIMENTADOR..... | 61 |
| 1.1.5.8.27 | POTENCIA DEL COMPRESOR | 61 |
| 1.1.5.8.28 | CAUDAL DEL AIRE | 62 |
| 1.1.5.8.29 | VELOCIDAD DE SALIDA DEL AIRE EN EL COMPRESOR | 63 |
| 1.1.5.8.30 | CÁLCULO DE KLA | 63 |
| 1.1.5.8.31 | CÁLCULO DE α | 65 |
| 1.1.5.8.32 | CÁLCULO DE β | 65 |
| 1.1.5.9 | TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS..... | 65 |
| 1.1.5.9.1 | ESPEZAMIENTO..... | 66 |
| 1.1.5.9.2 | ESTABILIZACIÓN..... | 66 |
| 1.1.5.9.3 | ACONDICIONAMIENTO..... | 66 |
| 1.1.5.9.4 | DESHIDRATADO..... | 66 |
| 1.1.5.9.5 | REDUCCIÓN..... | 66 |
| 1.1.5.10 | TIPOS DE LODOS Y SUS CARACTERÍSTICAS | 67 |
| 1.1.5.10.1 | ARENA..... | 67 |
| 1.1.5.10.2 | LODOS PRIMARIOS O CRUDOS..... | 67 |
| 1.1.5.10.3 | LODOS SECUNDARIOS | 67 |
| 1.1.5.10.4 | LODOS TERCIARIOS | 67 |
| 1.1.5.11 | DISPOSICIÓN DE LODOS | 68 |
| 1.1.5.11.1 | DISPERSIÓN EN EL TERRENO | 68 |
| 1.1.5.11.2 | DISPOSICIÓN EN RELLENO SANITARIO | 68 |
| 1.1.5.11.3 | DISPOSICIÓN EN SUELO DESTINADO | 68 |
| 1.1.5.12 | UTILIZACIÓN | 68 |
| CAPÍTULO II | | 70 |
| 2. PARTE EXPERIMENTAL..... | | 70 |

| | | |
|---------|---|-----------|
| 2.1 | LUGAR DE INVESTIGACIÓN..... | 70 |
| 2.2 | LUGAR DE MUESTREO..... | 70 |
| 2.3 | CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL PREVIO AL DISEÑO DE LA PLANTA..... | 70 |
| 2.3.1 | OBTENCIÓN DE LA MUESTRA DE AGUA RESIDUAL PARA LOS ANÁLISIS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS..... | 70 |
| 2.3.2 | TÉCNICAS Y METODOLOGÍAS DE ENSAYO..... | 71 |
| 2.3.2.1 | PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS..... | 71 |
| 2.3.2.2 | PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS..... | 72 |
| 2.4 | DISEÑO DE LA PLANTA..... | 72 |
| 2.5 | CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA A ESCALA DE LABORATORIO..... | 72 |
| 2.6 | PRUEBAS DE CONTROL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA..... | 75 |
| 2.7 | DESARROLLO EXPERIMENTAL DEL TRATAMIENTO POR LODOS ACTIVOS..... | 7 |
| 5 | | |
| 2.7.1 | OBTENCIÓN DEL AGUA RESIDUAL PARA LA VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA..... | 75 |
| 2.7.2 | PUESTA EN MARCHA DEL EQUIPO..... | 75 |
| 2.7.3 | CONTROL DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO..... | 76 |
| 2.7.3.1 | MEDICIÓN DE CAUDALES..... | 76 |
| 2.7.3.2 | MUESTREO PARA EL CONTROL DE VARIABLES DURANTE EL TRATAMIENTO..... | 77 |
| 2.7.3.3 | DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE MASA VOLUMÉTRICA APARENTE (KLA)..... | 78 |
| 2.7.3.4 | DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES CINÉTICOS EN REACTORES DE MEZCLA COMPLETA..... | 79 |
| 2.8 | CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL POSTERIOR AL TRATAMIENTO POR LODOS ACTIVOS..... | 80 |
| 2.9 | CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS RESULTANTES DEL TRATAMIENTO POR LODOS ACTIVOS DEL AGUA RESIDUAL..... | 80 |
| | CAPÍTULO III..... | 83 |
| | 3. CÁLCULOS DE DISEÑO..... | 83 |
| 3.1 | CÁLCULOS PRELIMINARES PARA EL DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO..... | 83 |
| 3.1.1 | DBO DEL EFLUENTE..... | 84 |

| | | |
|---------|---|----|
| 3.1.2 | BIOMASA EN EL REACTOR..... | 84 |
| 3.1.3 | VOLUMEN DEL REACTOR | 85 |
| 3.1.4 | TIEMPO MEDIO DE RETENCIÓN HIDRAÚLICA | 85 |
| 3.1.5 | PRODUCCIÓN DE LODO | 85 |
| 3.1.6 | PRODUCCIÓN DE SÓLIDOS TOTALES DE DESECHO | 86 |
| 3.1.7 | CAUDAL DE LOS LODOS DE DESECHO | 86 |
| 3.1.8 | CAUDAL DE RECIRCULACIÓN | 86 |
| 3.1.9 | RELACIÓN DE RECIRCULACIÓN | 87 |
| 3.1.10 | CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA (COV)..... | 87 |
| 3.1.11 | RELACIÓN ALIMENTO MICROORGANISMO | 87 |
| 3.1.12 | DEMANDA DE OXÍGENO..... | 87 |
| 3.1.13 | CAUDAL DE AIRE EN CONDICIONES NORMALES | 88 |
| 3.1.14 | CAUDAL DE AIRE REAL | 88 |
| 3.1.15 | VOLUMEN DE AIRE REQUERIDO POR UNIDAD DE DBO APLICADA AL TANQUE DE AIREACIÓN | 88 |
| 3.1.16 | VOLUMEN DE AIRE REQUERIDO POR UNIDAD DE DBO REMOVIDA | 89 |
| 3.1.17 | EFICIENCIA EN REMOCIÓN DE DBO TOTAL | 89 |
| 3.1.18 | EFICIENCIA EN REMOCIÓN DE DBO SOLUBLE | 89 |
| 3.1.19 | TASA ESPECÍFICA DE UTILIZACIÓN DEL SUSTRATO..... | 89 |
| 3.1.21 | POTENCIA DEL COMPRESOR | 91 |
| 3.2 | CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS REALES OBTENIDOS DURANTE EL TRATAMIENTO..... | 92 |
| 3.2.1 | DETERMINACIÓN DE CAUDALES..... | 92 |
| 3.2.1.1 | CAUDAL DEL PASO DEL AGUA TANQUE RESERVORIO – TANQUE DE AIREACIÓN..... | 92 |
| 3.2.1.2 | CAUDAL DEL PASO DEL AGUA TANQUE DE AIREACIÓN – TANQUE DE SEDIMENTACIÓN..... | 93 |
| 3.2.1.3 | CAUDAL DE SALIDA DEL AGUA TRATADA..... | 93 |
| 3.2.1.4 | CAUDAL DE RECIRCULACIÓN (100%) | 94 |
| 3.2.1.5 | CAUDAL DE RECIRCULACIÓN (75%) | 94 |
| 3.2.1.6 | CAUDAL DE RECIRCULACIÓN (50%) | 94 |
| 3.2.1.7 | CAUDAL DE RECIRCULACIÓN (25%) | 95 |
| 3.2.2 | CÁLCULO PARA LA DESOXIGENACIÓN DEL AGUA CORRIENTE..... | 95 |
| 3.2.2.1 | ADICIÓN DE SULFITO SÓDICO (Na_2SO_3) | 95 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 3.2.2.2 | ADICIÓN DE CLORURO DE COBALTO (COCL ₂)..... | 96 |
| 3.2.3 | PARÁMETROS DEL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL POR LODOS ACTIVOS | 96 |
| 3.2.3.1 | COEFICIENTES CINÉTICOS..... | 97 |
| 3.2.3.2 | DBO DEL EFLUENTE | 99 |
| 3.2.3.3 | BIOMASA EN EL REACTOR..... | 99 |
| 3.2.3.4 | VOLUMEN DEL REACTOR | 100 |
| 3.2.3.5 | TIEMPO MEDIO DE RETENCIÓN HIDRAÚLICA | 100 |
| 3.2.3.6 | PRODUCCIÓN DE LODO | 100 |
| 3.2.3.7 | PRODUCCIÓN DE SÓLIDOS TOTALES DE DESECHO | 100 |
| 3.2.3.8 | CAUDAL DE LOS LODOS DE DESECHO | 101 |
| 3.2.3.9 | CAUDAL DE RECIRCULACIÓN | 101 |
| 3.2.3.10 | RELACIÓN DE RECIRCULACIÓN..... | 102 |
| 3.2.3.11 | INDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS IVL..... | 102 |
| 3.2.3.12 | CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA (COV)..... | 102 |
| 3.2.3.13 | RELACIÓN ALIMENTO MICROORGANISMO | 102 |
| 3.2.3.14 | DEMANDA DE OXÍGENO..... | 103 |
| 3.2.3.15 | CAUDAL DE AIRE EN CONDICIONES NORMALES | 103 |
| 3.2.3.16 | CAUDAL DE AIRE REAL | 103 |
| 3.2.3.17 | VOLUMEN DE AIRE REQUERIDO POR UNIDAD DE DBO APLICADA AL TANQUE DE AIREACIÓN..... | 103 |
| 3.2.3.18 | VOLUMEN DE AIRE REQUERIDO POR UNIDAD DE DBO REMOVIDA | 104 |
| 3.2.3.19 | EFICIENCIA EN REMOCIÓN DE DBO TOTAL | 104 |
| 3.2.3.20 | EFICIENCIA EN REMOCIÓN DE DBO SOLUBLE | 104 |
| 3.2.3.21 | TASA ESPECÍFICA DE UTILIZACIÓN DEL SUSTRATO..... | 105 |
| 3.2.4 | POTENCIA DEL COMPRESOR..... | 106 |
| 3.2.5 | VELOCIDAD DEL AIRE A LA SALIDA DEL COMPRESOR..... | 107 |
| 3.2.6 | CAUDAL DE AIRE | 108 |
| 3.2.7 | CÁLCULO DE KLA PARA EL AGUA POTABLE | 108 |
| 3.2.7.1 | CÁLCULO DE CS..... | 109 |
| 3.2.7.2 | KLA. | 110 |
| 3.2.7.3 | CORRECCIÓN DE KLA A 20°C..... | 111 |
| 3.2.8 | CÁLCULO DE KLA PARA EL AGUA RESIDUAL..... | 111 |

| | | |
|--------------------------|--|------------|
| 3.2.8.1 | CALCULO DE CSR | 112 |
| 3.2.8.2 | KLA | 113 |
| 3.2.8.3 | CORRECCIÓN DE KLA A 20°C..... | 114 |
| 3.2.9 | CÁLCULO DE α (RELACIÓN DE LA TASA DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO EN AGUA RESIDUAL A AGUA POTABLE) | 114 |
| 3.2.10 | CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE SATURACIÓN DE OD EN EL AGUA RESIDUAL A LA DEL AGUA POTABLE O DESTILADA..... | 114 |
| CAPÍTULO IV | | 116 |
| 4 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 116 |
| 4.1 | CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL PREVIO AL TRATAMIENTO | 116 |
| 4.2 | DISEÑO DE LA PLANTA..... | 117 |
| 4.3 | CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA | 119 |
| 4.4 | DESARROLLO EXPERIMENTAL..... | 119 |
| 4.4.1 | CAUDALES | 119 |
| 4.4.2 | CONTROL DE VARIABLES DURANTE EL TRATAMIENTO | 120 |
| 4.4.2.1 | TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA 72 HORAS..... | 120 |
| 4.4.2.2 | TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA 60 HORAS..... | 122 |
| 4.4.2.3 | TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA 48 HORAS..... | 123 |
| 4.4.2.4 | TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA 36 HORAS..... | 125 |
| 4.4.2.5 | TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA 24 HORAS..... | 126 |
| 4.4.2.6 | TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA 12 HORAS..... | 127 |
| 4.4.2.7 | TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA 8 HORAS..... | 127 |
| 4.4.2.8 | TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA 4 HORAS..... | 127 |
| 4.4.3 | MEDICIONES DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES, SUSPENDIDOS Y VOLÁTILES EN EL REACTOR DE AIREACIÓN..... | 131 |
| 4.5 | CONTROL DE DQO EN EL EFLUENTE..... | 134 |
| 4.5.1 | KLA | 136 |
| 4.4.4. | COEFICIENTES CINÉTICOS | 137 |
| 4.5.2 | PARÁMETROS DE DISEÑO DURANTE EL TRATAMIENTO POR LODOS ACTIVOS | 137 |
| 4.6 | ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL DESPUES DEL TRATAMIENTO..... | 140 |
| 4.7 | CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS RESULTANTES DEL TRATAMIENTO POR LODOS ACTIVOS DEL AGUA RESIDUAL | 143 |

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO V | 145 |
| 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 145 |
| 5.4 CONCLUSIONES | 145 |
| 5.5 RECOMENDACIONES | 146 |
| | |
| CAPÍTULO VI | 149 |
| 6. BIBLIOGRAFÍA | 149 |
| | |
| ANEXOS | 157 |
| ANEXO 1..... | 158 |
| MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL POR LODOS ACTIVOS A ESCALA DE LABORATORIO | 158 |
| ANEXO 2..... | 161 |
| COSTOS DEL PROYECTO..... | 161 |
| ANEXO 3..... | 165 |
| FOTOGRAFÍAS | 165 |
| ANEXO 4..... | 179 |
| ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS | 179 |
| ANEXO 5..... | 181 |
| CARACTERIZACIÓN DE LODOS | 181 |
| ANEXO 6..... | 182 |
| PLANOS | 182 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| TABLA I.- CONTAMINANTES DE IMPORTANCIA EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL..... | 22 |
| TABLA II.- MICROORGANISMOS FRECUENTES EN EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS..... | 40 |
| TABLA III.- PARÁMETROS TÍPICOS PARA EL DISEÑO DE REACTORES DE LODOS ACTIVADOS..... | 48 |
| TABLA IV.- CANTIDAD DE LODOS DE DESECHO..... | 52 |
| TABLA V.- VALORES TÍPICOS DE COEFICIENTES CINÉTICOS PARA EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS..... | 58 |
| TABLA VI.- TASA SUPERFICIAL PARA SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA..... | 59 |
| TABLA VII.- CARGA DE SÓLIDOS PARA SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA..... | 60 |
| TABLA VIII.- PROFUNDIDAD DEL SEDIMENTADOR..... | 60 |
| TABLA IX.- CAPACIDAD DE OXÍGENO DISUELTO..... | 64 |
| TABLA X.- PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS A DETERMINAR EN EL AGUA RESIDUAL..... | 71 |
| TABLA XI.- PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS A DETERMINAR EN EL AGUA RESIDUAL..... | 72 |
| TABLA XII.- PROGRAMA DE MUESTREO..... | 77 |
| TABLA XIII.- DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES CINÉTICOS..... | 79 |
| TABLA XIV.- DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES CINÉTICOS..... | 79 |
| TABLA XV.- PARÁMETROS CARACTERIZADOS EN LOS LODOS..... | 80 |
| TABLA XVI.- DATOS PARA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO..... | 83 |
| TABLA XVII.- DATOS PARA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO..... | 83 |
| TABLA XVIII.- DATOS PARA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO..... | 83 |
| TABLA XIX.- DATOS PARA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO..... | 84 |
| TABLA XX.- DATOS PARA EL DISEÑO DEL TANQUE SEDIMENTADOR..... | 90 |
| TABLA XXI.- DATOS PARA DETERMINACIÓN DE CAUDAL..... | 92 |
| TABLA XXII.- DATOS PARA DETERMINACIÓN DE CAUDAL..... | 93 |
| TABLA XXIII.- DATOS PARA DETERMINACIÓN DE CAUDAL..... | 93 |
| TABLA XXIV.- DATOS PARA DETERMINACIÓN DE CAUDAL..... | 94 |
| TABLA XXV.- DATOS PARA DETERMINACIÓN DE CAUDAL..... | 94 |
| TABLA XXVI.- DATOS PARA DETERMINACIÓN DE CAUDAL..... | 94 |
| TABLA XXVII.- DATOS PARA DETERMINACIÓN DE CAUDAL..... | 95 |
| TABLA XXVIII.- DATOS PARA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DEL TRATAMIENTO..... | 96 |
| TABLA XXIX.- DATOS PARA DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES CINÉTICOS..... | 97 |
| TABLA XXX.- DATOS PARA DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES CINÉTICOS..... | 97 |
| TABLA XXXI.- DATOS PARA EL DISEÑO DEL TANQUE SEDIMENTADOR..... | 105 |

| | |
|--|-----|
| TABLA XXXII.- VALORES DE SATURACIÓN DE OXÍGENO PARA AGUA POTABLE | 108 |
| TABLA XXXIII.- DATOS PARA EL CÁLCULO DE KLA | 109 |
| TABLA XXXIV.- VALORES DE SATURACIÓN DE OXÍGENO PARA AGUA POTABLE | 111 |
| TABLA XXXV.- DATOS PARA EL CÁLCULO DE KLA | 112 |
| TABLA XXXVI.- RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN ANTES DEL TRATAMIENTO..... | 116 |
| TABLA XXXVII.- RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE DISEÑO | 117 |
| TABLA XXXVIII.- RESULTADOS DE LOS CAUDALES | 119 |
| TABLA XXXIX.- TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA DE 72 HORAS..... | 120 |
| TABLA XL.- TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA DE 60 HORAS | 122 |
| TABLA XLI.- TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA DE 48 HORAS | 123 |
| TABLA XLII.- TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA DE 36 HORAS..... | 125 |
| TABLA XLIII.- TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA DE 24 HORAS | 126 |
| TABLA XLIV.- TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA DE 12 HORAS | 127 |
| TABLA XLV.- TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA DE 8 HORAS | 127 |
| TABLA XLVI.- TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA DE 4 HORAS | 127 |
| TABLA XLVII.- VALORES PROMEDIOS DE PH, TEMPERATURA Y OD EN CADA TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA | 129 |
| TABLA XLVIII.- REGISTRO DE LA MEDICIÓN DE SSS, SSV, SST DURANTE LA AIREACIÓN..... | 131 |
| TABLA XLIX.- VALORES PROMEDIO DE SSS, SSV, SST DURANTE LA AIREACIÓN | 132 |
| TABLA L.- VALORES DE DQO EN EL EFLUENTE..... | 134 |
| TABLA LI.- VALORES DE KLA | 136 |
| TABLA LII.- VALORES DE A Y B..... | 136 |
| TABLA LIII.- RESULTADOS DE LOS COEFICIENTES CINÉTICOS | 137 |
| TABLA LIV.- RESULTADOS DE PARÁMETROS DE DISEÑO DURANTE EL TRATAMIENTO..... | 137 |
| TABLA LV.- RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DESPUÉS DEL TRATAMIENTO..... | 140 |
| TABLA LVI.- PARÁMETROS CARACTERIZADOS EN LOS LODOS..... | 143 |
| TABLA LVII.- COSTOS DIRECTOS DE LA CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA PLANTA A ESCALA DE LABORATORIO | 161 |
| TABLA LVIII.- COSTOS INDIRECTOS DE LA CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA PLANTA A ESCALA DE LABORATORIO | 163 |
| TABLA LIX.- COSTOS TOTALES DE LA CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA PLANTA A ESCALA DE LABORATORIO | 164 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| FIGURA 1.- ESQUEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR FANGOS ACTIVOS | 31 |
| FIGURA 2.- AIREACIÓN POR PASOS | 32 |
| FIGURA 3.- AIREACIÓN PIRAMIDAL | 33 |
| FIGURA 4.- ESTABILIZACIÓN POR CONTACTO | 34 |
| FIGURA 5.- LODOS ACTIVADOS CON OXÍGENO PURO | 35 |
| FIGURA 6.- SISTEMA TÍPICO DE LODOS ACTIVADOS CON REACTOR DE FLUJO PISTÓN 42 | 42 |
| FIGURA 7.- ESQUEMA DE SISTEMAS DE DIFUSIÓN: A) DE BURBUJA FINA Y B) DE BURBUJA GRUESA. | 45 |
| FIGURA 8.- AIREADOR MECÁNICO DE SUPERFICIE, FIJO SOBRE PLATAFORMA DE BAJA VELOCIDAD | 46 |
| FIGURA 9.- ZONAS DE FUNCIONAMIENTO DE UN AIREADOR MECÁNICO)..... | 47 |
| FIGURA 10.- SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA | 58 |
| FIGURA 11.- ALTERNATIVAS BÁSICAS PARA EL TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS | 67 |
| FIGURA 12.- ESQUEMA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA | 73 |
| FIGURA 13.- PENDIENTE DEL TANQUE DE SEDIMENTACIÓN | 91 |
| FIGURA 14.- OBTENCIÓN DE K_S Y K | 98 |
| FIGURA 15.- OBTENCIÓN DE K_D Y Y | 99 |
| FIGURA 16.- PENDIENTE DEL TANQUE DE SEDIMENTACIÓN | 106 |
| FIGURA 17.- TIEMPO VS (CS-C) | 110 |
| FIGURA 18.- TIEMPO VS (CS-CO)/(CS-C) | 110 |
| FIGURA 19.- TIEMPO VS (CSR-C) | 113 |
| FIGURA 20.- TIEMPO VS (CSR-CO)/(CSR-C) | 113 |
| FIGURA 21.- PLANO DE LA PLANTA PARA LA CONSTRUCCIÓN | 119 |
| FIGURA 22.- VARIACIÓN DE PH EN LAS 72 HORAS DE TRH | 121 |
| FIGURA 23.- VARIACIÓN DE TEMPERATURA EN LAS 72 HORAS DE TRH | 121 |
| FIGURA 24.- VARIACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN LAS 72 HORAS DE TRH..... | 122 |
| FIGURA 25.- VARIACIÓN DE PH EN LAS 60 HORAS DE TRH | 122 |
| FIGURA 26.- VARIACIÓN DE TEMPERATURA EN LAS 60 HORAS DE TRH | 123 |
| FIGURA 27.- VARIACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN LAS 60 HORAS DE TRH | 123 |
| FIGURA 28.- VARIACIÓN DE PH EN LAS 48 HORAS DE TRH | 124 |
| FIGURA 29.- VARIACIÓN DE TEMPERATURA EN LAS 48 HORAS DE TRH | 124 |
| FIGURA 30.- VARIACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN LAS 48 HORAS DE TRH | 125 |
| FIGURA 31.- VARIACIÓN DE PH EN LAS 36 HORAS DE TRH | 126 |
| FIGURA 32.- VARIACIÓN DE TEMPERATURA EN LAS 36 HORAS DE TRH..... | 126 |
| FIGURA 33.- VARIACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN LAS 36 HORAS DE TRH..... | 126 |
| FIGURA 34.- VARIACIÓN DE PH EN LAS 24-12-8 Y 4 HORAS DE TRH | 128 |
| FIGURA 35.- VARIACIÓN DE TEMPERATURA EN LAS 24-12-8 Y 4 HORAS DE TRH | 128 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 36.- VARIACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN LAS 24-12-8 Y 4 HORAS DE TRH..... | 128 |
| FIGURA 37.- VARIACIÓN PROMEDIO DEL PH DURANTE EL TRATAMIENTO | 129 |
| FIGURA 38.- VARIACIÓN DE TEMPERATURA DURANTE EL TRATAMIENTO..... | 130 |
| FIGURA 39.- VARIACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO DURANTE EL TRATAMIENTO | 130 |
| FIGURA 40.- VALORES PROMEDIO DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES DURANTE LA AIREACIÓN..... | 133 |
| FIGURA 41.- VALORES PROMEDIOS DE SST DURANTE LA AIREACIÓN | 133 |
| FIGURA 42.- VALORES PROMEDIOS DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES DURANTE LA AIREACIÓN | 134 |
| FIGURA 43.- DISMINUCIÓN EN LA CONCENTRACIÓN DE DQO | 135 |
| FIGURA 44.- PH, TEMPERATURA Y OXÍGENO DISUELTO INICIAL Y FINAL | 141 |
| FIGURA 45.- DBO Y DQO INICIAL Y FINAL | 142 |
| FIGURA 46.- VARIACIÓN DE SÓLIDOS | 142 |
| FIGURA 47.- VARIACIÓN DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS | 143 |

ABSTRACT

This research aims to design and implement sewage plant through activated sludge in a laboratory scale at the Faculty of Science, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

The research – experimental method was applied and it consisted in checking of several studies carried out in similar conditions, sampling in the cheese Factory Llin Llin, it is located at Pucará – Colta canton using point sampling, microbiological, physical, chemical and wastewater, development of previous calculations, construction, treatment and actual calculations.

The building material for the laboratory scale plant was polycarbonate, the dimensions are taken into account the 12% of those obtained in previous calculations, the plant has three tanks: reservoir, aeration and sedimentation with the following dimensions 50 cm x 50 cm x 75 cm and two tanks: treated water storage and sludge with dimensions 50 cm x 50 cm x 50 cm. The settling tank has a 20% slope.

The treatment started using different hydraulic retention times (72-60-48-36-24-12-8-4 hours) for each sample and 11 days of cell retention.

As a result of the treatment it was accomplished when removing BOD with an initial value of 28300 mg/L to 350 mg/L of a hydraulic retention time of 4 hours.

It is concluded that the biological treatment performed in the laboratory scale plant has presented satisfactory efficiency of 98% for sewage of cheese factories.

It is recommended to develop a strict control on the pH, temperature, dissolved oxygen, settleable solids, suspended and volatile to ensure proper treatment and reduce biochemical oxygen demanded.

RESUMEN

La investigación es el Diseño e Implementación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales por Lodos Activos a Escala de Laboratorio en la Facultad de Ciencias – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Se empleó el método investigativo-experimental que consistió en: revisión de varios trabajos realizados en condiciones similares, toma de muestra en la quesera Llin Llin Pucará – Cantón Colta utilizando muestreo puntual, caracterización física, química y microbiológica del agua residual, elaboración de cálculos previos, construcción, tratamiento y cálculos reales.

El material de construcción empleado para la planta a escala laboratorio fue policarbonato, las dimensiones han sido tomadas considerando el 12% de las obtenidas en cálculos previos, la planta cuenta con tres tanques: reservorio, aireación y sedimentación de dimensiones 50cm x 50cm x 75 cm y dos tanques: almacenamiento de agua tratada y lodos con dimensiones 50cm x 50cm x 50cm. El tanque sedimentador presenta una inclinación del 20%.

El tratamiento inició empleando diferentes tiempos de retención hidráulica (72-60-48-36-24-12-8-4 horas) para cada muestra y 11 días de retención celular.

Como resultado del tratamiento se logró la remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) con un valor inicial de 28300 mg/L a 350 mg/L en un tiempo de retención hidráulica de 4 horas.

Se concluye que el tratamiento biológico realizado en la planta a escala laboratorio es satisfactorio presentando una eficiencia del 98% para aguas residuales de quesera.

Se recomienda realizar un estricto control en cuanto al pH, temperatura, oxígeno disuelto, sólidos sedimentables, suspendidos y volátiles para garantizar un adecuado tratamiento y reducir la demanda bioquímica de oxígeno considerablemente.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad una de las mayores preocupaciones a nivel mundial es la conservación del ambiente, y uno de los problemas que más preocupa a la humanidad es la gran cantidad de aguas residuales que sin un tratamiento previo son vertidas a los cuerpos de agua, de modo que en los últimos se ha empezado a desarrollar distintos tipos de tratamiento para el agua residual.

El tratamiento biológico ha probado ser uno de los más eficientes, el cual se basa en la capacidad que tienen los microorganismos para metabolizar y convertir la materia orgánica en suspensión y disuelta, en tejido celular nuevo y diferentes gases.

Dentro de este tipo de tratamiento el oxígeno desempeña un papel primordial debido a que su ausencia o presencia condiciona el tipo de microorganismos que se encargaran de degradar y eliminar la materia orgánica que se presente en el agua residual.

El tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados se considera como un método de tratamiento biológico aerobio en suspensión, su nombre proviene de la producción de una masa activada de microorganismos contenidos en un reactor capaces de metabolizar y consumir la materia orgánica presente en el agua residual en un medio aerobio.

Al poseer las aguas residuales tanto domésticas como industriales una gran variedad de microorganismos capaces de remover materia orgánica, patógenos y nutrientes (Nitrógeno y Fósforo), el empleo del tratamiento por lodos activados ofrece una buena alternativa para su depuración.

Una planta de lodos activados es un sistema de mezcla completa, el ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de aireadores mecánicos que pueden ser colocados ya sea en el lecho o superficie del mismo. Al transcurrir un periodo determinado de tiempo la mezcla líquida, aguas residuales con floc biológico en suspensión, es separada en un sedimentador y parte de las células sedimentadas se recirculan con el fin de mantener en el reactor la concentración de células deseadas, mientras que la otra parte se purga del sistema y se descarga el efluente clarificado.

Por todos los beneficios que este tipo de tratamiento presenta, en la actualidad se ha optado por el desarrollo de modelos de plantas de tratamiento de aguas residuales a escala piloto o de laboratorio con la finalidad de obtener parámetros tanto para el diseño como para la operación de los sistemas de tratamiento, ya que generalmente las plantas a escala mayor presentan problemas de operación y funcionamiento como consecuencia de diseños inapropiados basados en parámetros que no corresponden a las características físico-químicas del efluente, así como a las condiciones ambientales del lugar en donde se genera el mismo.

De modo que para evitar dichos tipos de inconvenientes los modelos a escala laboratorio de lodos activados son utilizados para el diseño de los sistemas de tratamiento a escala real, ya que a través de estos se puede evaluar la velocidad a la cual los microorganismos consumen la materia orgánica presente en el efluente que se desea tratar, así como cada uno de los parámetros necesarios para su diseño.

JUSTIFICACIÓN

Al ser el agua uno de los recursos empleado por todos quienes habitamos el planeta, a diario se generan millones de litros de agua residual en el mundo lo cual es inevitable ya que son producto de todas las actividades de los seres humanos tanto domésticas como industriales, estas aguas al no recibir un tratamiento previo y ser descargadas directamente en cuerpos o fuentes de aguas naturales se convierten en una amenaza grave tanto para el ambiente como para la salud humana, ya que estas aguas presentan altas concentraciones de materia orgánica, sólidos suspendidos, nutrientes y patógenos.

Por lo tanto, con el fin de preservar el medio ambiente, cuidar el recurso hídrico y proteger así la salud pública el desarrollo e implementación de procesos de tratamiento de aguas residuales se ha vuelto indispensable. Siendo actualmente los procesos biológicos los más utilizados dentro de los cuales tenemos el procedimiento por lodos activos.

Siendo el objetivo principal el diseñar, implementar y poner en funcionamiento una planta de depuración de aguas residuales por lodos activos a escala de laboratorio en la Facultad de Ciencias de la ESPOCH con la finalidad de que esta sea empleada para obtener parámetros de diseño y operación que definan las dimensiones y comportamiento de este tipo de tratamiento, además obtener información de que tan beneficioso es su aplicación para determinados tipos de aguas residual, de modo que pueda ser llevado a escala mayor contribuyendo así a la disminución de la carga contaminante de las aguas residuales generadas a diario logrando mantenerlas dentro de los límites establecidos por la norma (TULAS). Cabe recalcar que se optó por este tipo de tratamiento ya que por información obtenida de trabajos desarrollados anteriormente se sabe que como resultado tienen una eficiencia considerable en la remoción de materia orgánica del agua residual.

Asi como también, esto contribuirá a los estudiantes de la facultad que reciben materias concernientes a este tema para una mejor comprensión de la forma en cómo se lleva a cabo este proceso, ya que en la actualidad no se cuenta con un equipo que nos permita realizar este tipo de prácticas.

ANTECEDENTES

Las aguas residuales resultantes de los diversos usos domésticos e industriales, deben ser tratadas antes de su vertido en los cauces receptores a fin de minimizar su impacto contaminante sobre el medio ambiente.

El proceso de Lodos Activados es una de las tecnologías más difundidas a nivel mundial para la depuración de aguas residuales. La misma que fue creada en 1914 para el tratamiento de efluentes industriales y efluentes municipales. Siendo su principio básico el que las aguas residuales se pongan en contacto con una población microbiana mixta, en forma de suspensión de flóculos en un sistema aireado y agitado (13).

En 1917 comienza la aplicación de este proceso a escala industrial, al poner en marcha una planta con capacidad para 946 m³/d de aguas residuales la MANCHESTER CORPORATION. En esa misma fecha, en Houston (Texas) se construye una estación de depuración de 38.000 m³/d. A partir de ese momento, tanto en Gran Bretaña como en Estados Unidos, comienza la construcción de numerosas plantas para el tratamiento de las aguas residuales urbanas basadas en esta tecnología. A pesar de al correcto funcionamiento de las nuevas plantas construidas se desconocía, básicamente, cuáles eran los fundamentos de esta nueva tecnología de tratamiento, de modo que su diseño se determinaba en forma empírica (17).

Y no es hasta los años 50-60 cuando se desarrolla una teoría válida sobre el proceso de Lodos Activos, lo que permitió que se comiencen a realizar diseños racionales basados en las propias características de las aguas residuales a tratar. A partir de este momento, se ha tenido un rápido incremento en la implantación de estaciones de tratamiento bajo la modalidad de Lodos Activos. (1).

Se sabe que se han implementado varias plantas de tratamiento de aguas residuales por lodos activados, e incluso que varias empresas desarrollan equipos con este método los cuales pueden servir para el equipamiento de industrias o laboratorios (12).

En el país se conoce la existencia de una empresa que ofrece servicios ambientales “ALQUISER” (Quito-Ecuador), en la cual se realiza tratamiento de aguas residuales en la que el tratamiento biológico se realiza mediante el proceso de lodos activados, a través de un tanque o reactor biológico, donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión y se realiza la oxidación de la materia orgánica (23).

AWT, AndeanWaterTreatment, es la primera y más antigua empresa de tratamiento de aguas para acondicionamiento industrial e institucional del Ecuador, en la que las distintas propuestas comerciales de este tipo de plantas consta de dos fases de base: una primera fase aerobia y una segunda fase anaerobia (7).

Mientras que a nivel mundial existen varios países en los que se han desarrollado plantas de tratamiento de aguas residuales por medio de lodos activados así tenemos: Southside Waste water Treatment Plant, (Dallas, Texas, USA). Esta planta de tratamiento fue construida en 1955 con una capacidad de generar 3 000 000 galones/día de agua tratada. En la actualidad la planta es capaz de tratar 16 000 000 galones/día (20).

La planta “XELAJÚ PANAMÁ” es una planta tipo paquete del proceso de lodos activados en el cual tiene lugar una aireación extendida y está diseñada para operar con dos tanques dobles de aireación, cada uno con capacidad para 50000 galones y un módulo para digestión de lodos (25).

Así también “GUNT Hamburg” en Alemania a desarrollado Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales por Proceso de Lodos Activados, que cuenta con las siguientes características: Estación depuradora de aguas residuales a escala de laboratorio, proceso continuo y práctico, tanque de aireación con zona anóxica para la desnitrificación previa, unidad de alimentación con depósito de agua residual grande, numerosas funciones técnica de medición y regulación por Software LabVIEW con funciones de control y adquisición de datos (21).

Además en la última década se han efectuado trabajos de investigación basados en el tratamiento de aguas residuales mediante el proceso de lodos activados a escala piloto y de laboratorio, entre estos podemos citar los siguientes:

En la Universidad de los Andes se llevó a cabo el “Diseño y construcción de una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales por lodos activos y su puesta en marcha para tratar vinazas de una destilería”, la cual consta de un tanque de alimentación, una cámara de reacción, un sistema de aireación, un sedimentador, una bomba de reciclo y accesorios de conexión. El caudal de alimentación puede variar entre 0.1 – 5.0 L/h. La remoción de la DBO fue mayor a 89.5% y con respecto a DQO mayor a 33.3% (7).

En Colombia se realizó el proyecto “Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala de laboratorio”, en el cual el modelo seleccionado es una adaptación del propuesto por Reynolds & Richards (2006). El reactor construido cuenta con un volumen total de 18 litros de capacidad, de los cuales 12 litros corresponden a la zona de aireación y 6 litros a la zona de sedimentación, dichas zonas se encuentran separadas por medio de un deflector regulable, el sistema fue evaluado por medio de un agua residual sintética de baja carga y composición conocida durante cuatro semanas alcanzando eficiencias de remoción de materia orgánica en términos de DQO entre 85 y 90 % (9).

Un proyecto similar tuvo lugar en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, para lo cual se ha diseñado un módulo compuesto por 6 minireactores, las aguas residuales fueron suministradas a cada minireactor mediante un dosificador, el mismo que fue abastecido por medio de una bomba peristáltica (8).

Así también en la Universidad Central de Venezuela se desarrolló el trabajo “lodos activados a escala laboratorio para el tratamiento de efluentes de una industria papelería”, este consta de una cámara de aireación de 30 L y sedimentador de 10 L (14).

Finalmente en el 2004 en Chile tuvo lugar el proyecto “Tratamiento de aguas residuales de la industria de curtiembre mediante un sistema de lodos activados a escala piloto” con el objetivo de establecer parámetros de operación de una planta de tratamiento

mediante lodos activados para el tratamiento de los residuos industriales líquidos generados (15).

De este modo los avances en cuanto a este tratamiento de aguas residuales sigue avanzando cada vez más ya que como se ha podido observar su porcentaje de eficiencia en la remoción de materia orgánica es grande, diseñando incluso estaciones de depuración que pueden ser transportadas fácilmente para su implementación en sitios donde sean requeridos.

OBJETIVOS

GENERAL

- Diseñar e implementar una planta de tratamiento de aguas residuales por lodos activos a escala de laboratorio en la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

ESPECÍFICOS

- Caracterizar física, química y microbiológicamente el agua residual a tratar.
- Diseñar y construir un sistema de tratamiento de agua residual por lodos activos en el Laboratorio de Análisis Instrumental de la Facultad de Ciencias- ESPOCH.
- Evaluar la eficiencia de remoción de la materia orgánica con un agua residual natural proveniente de las descarga de agua residual de la Quesera Llin Llín Pucará.
- Determinar los parámetros de diseño para el tratamiento del agua residual tratada mediante el proceso de lodos activos.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Agua Residual

Se denomina aguas residuales a todas aquellas que han sido utilizadas para diversos fines, cuyo destino son las cloacas y son transportadas mediante un sistema de alcantarillado. (4)

Aguas residuales domésticas se considera a todos los líquidos que provienen diversos lugares como: viviendas, edificios comerciales e institucionales. Aguas residuales municipales se conoce a los residuos líquidos que son transportados por el sistema alcantarillado y tratados en una planta de tratamiento municipal. Mientras que a las aguas que se generan de las descargas de industrias se conoce como aguas residuales industriales. (4)

También se conoce como aguas negras a las aguas residuales que provienen de inodoros, es decir, contienen excretas humanas y orina, éstas se caracterizan por tener cantidades grandes de sólidos en suspensión, nitrógeno y coliformes fecales. Y a las aguas residuales que provienen de duchas, lavamanos, lavadoras, se conocen como aguas grises las cuales presentan cantidades considerables de DBO, sólidos suspendidos, fósforo, grasa y coliformes fecales. (4)

1.1.1 Características de las Aguas Residuales

1.1.1.1 Características Físicas

1.1.1.1.1 Olores

Los olores se producen debido a la descomposición de la materia orgánica y a los gases que producto de éste proceso son liberados. El agua residual que ha sido descargada recientemente tiene un olor propio, a pesar de ser desagradable, resulta más tolerable que el olor del agua residual séptica. En el agua residual séptica, la acción de microorganismos anaerobios, los cuales producen sulfuro de hidrógeno dan el olor propio a la misma, esto ocurre al reducirse los sulfatos a sulfitos.

Al momento de realizar instalaciones de plantas tratamiento de aguas residuales, se presenta un gran inconveniente ya que genera el rechazo por parte de poblaciones cercanas debido a los olores que se generan. (1)

Cuando los olores generados por las plantas de tratamiento son fuertes, varios son los problemas sobre los humanos como: menor consumo de agua, pérdida del apetito, dificultades respiratorias, náuseas, vómito, perturbaciones mentales, deterioro de las relaciones humanas, pérdida del potencial de desarrollo. (4)

1.1.1.1.2 Temperatura

Por lo general el agua residual suele presentar una temperatura más elevada que el agua de suministro, debido a la incorporación de aguas de diversas fuentes o de diferentes usos las cuales son más calientes. Las temperaturas que se registran durante la mayor parte del año en las aguas residuales son más altas que el agua normal, y solo son menores cuando se presentan climas calurosos, esto se debe a que el calor específico del agua es mucho mayor que la del aire. (1)

El momento en que la temperatura de las aguas residuales se ha incrementado de forma anormal se da una proliferación de plantas acuáticas y hongos. (1)

Cuando el agua presenta niveles elevados de temperatura la vida acuática se ve afectada ya que la concentración de oxígeno disuelto, la velocidad de las reacciones químicas así como la actividad bacteriana se modifican. Mientras que la tasa de sedimentación de sólidos en aguas cálidas es mayor que en aguas frías ocasionado por el cambio de viscosidad.

El crecimiento de la vida bacteriana se desarrolla óptimamente a temperaturas entre los 25°C a 35°C. La digestión aeróbica y la nitrificación se suspenden cuando la temperatura alcanza los 50°C. Cuando la temperatura es menor de 15°C la digestión metanogénica es muy lenta, y a temperatura de 5°C las bacterias autotróficas nitrificantes dejan de operar. (4)

1.1.1.1.3 Densidad

Densidad de un agua residual es igual a su masa por unidad de volumen expresada en kg/m^3 . De la densidad depende la potencial formación de fangos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento por lo que es una característica física importante del agua residual. Generalmente la densidad de un agua residual doméstica que no presenta cantidades grandes de residuos industriales es la misma que la del agua limpia a la misma temperatura. (1)

1.1.1.1.4 Color

Las causas más comunes que ocasionan una coloración característica de las aguas residuales son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; así como también el contacto del agua residual con desechos orgánicos, en diferentes estados de desintegración, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. El efecto de las partículas que se encuentran cargadas negativamente en el agua es lo que le da su color natural; y su remoción se puede conseguir con el uso de un coagulante de una sal de ion metálico trivalente como el Aluminio o el Hierro.

El agua presenta dos tipos de color: el color de la muestra una vez que se ha removido su turbidez se conoce como color verdadero, y el color que incluye las sustancias que se encuentran en solución, coloidales y también el color debido al material suspendido se conoce como color aparente, éste se determina sobre la muestra original, sin filtración o centrifugación previa. (4)

El color grisáceo es característico del agua residual que ha sido recientemente generada, pero éste color cambia de gris a gris oscuro y finalmente a negro al aumentar el tiempo de generación, transporte dentro de los sistemas de alcantarillado y al producirse condiciones cercanas a las anaerobias por las descomposición de materia orgánica. (1)

La formación de sulfuros metálicos son los que provocan que las aguas residuales sépticas presenten un color negro. El color en las aguas residuales industriales es un indicador de su contaminación, de igual manera muestra si los procesos que se sigue en su tratamiento son correctos o presentan algún deterioro. Las aguas industriales que

presentan colores fuertes son las provenientes de la industria de textiles y los de pulpa de papel. (4)

1.1.1.1.5 Turbiedad

Es una propiedad física que determina la transmisión de la luz en el agua. Este parámetro se lo mide llevando a cabo una comparación entre la intensidad de luz disipada en la muestra de agua y la registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones. (4)

Constituye una medida visual del material que se encuentra suspendido en las aguas residuales a ser analizadas. Las aguas residuales generalmente son turbias; en aguas residuales tratadas puede ser un factor importante para el control de calidad. (4)

1.1.1.1.6 Sólidos

Es la materia sólida que se encuentra contenida en el agua residual. (4)

- ✓ **Sólidos totales.** Después del proceso de evaporación y secado a 103°C realizado con el agua, queda una materia como residuo, a éste se lo conoce como sólidos totales. Los sólidos totales están formado por material disuelto y no disuelto (sólidos suspendidos).
- ✓ **Sólidos disueltos.** También conocidos como residuo filtrable. Son determinados directamente o se los puede realizar por diferencia de pesos entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos.
- ✓ **Sólidos suspendidos.** Conocidos también como residuo no filtrable o material no disuelto, los mismos que pueden ser determinados efectuando una filtración por medio de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un crisol pesado previamente.
- ✓ **Sólidos volátiles y sólidos fijos.** Esta determinación se la hace con el fin de conocer la cantidad de materia orgánica presente, se la realiza generalmente en aguas residuales y lodos.

- ✓ **Sólidos sedimentables.** Son aquellos sólidos que se encuentran en suspensión en el agua residual y posteriormente sedimentarán, sin acción de ningún agente externo, en condiciones tranquilas y por efecto de la gravedad. (4)

1.1.1.2 Características Químicas

1.1.1.2.1 Materia Orgánica

Son sólidos que provienen del reino animal y vegetal, así como de actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos.

Generalmente contienen combinaciones de carbono, oxígeno e hidrógeno, y en algunos casos nitrógeno. Pueden también estar presentes otros elementos pero en cantidades menores como el azufre, hierro o fósforo.

Como principales sustancias orgánicas que se pueden encontrar en el agua residual están: las proteínas (40 – 60%), los hidratos de carbono (25 – 50%), y las grasas y aceites (10%). La urea es otro compuesto orgánico con importante presencia en el agua residual. Sin embargo, la velocidad del proceso de descomposición de la urea es relativamente lenta por lo que es poco común que esté presente en las aguas residuales que no sean muy recientes. (1)

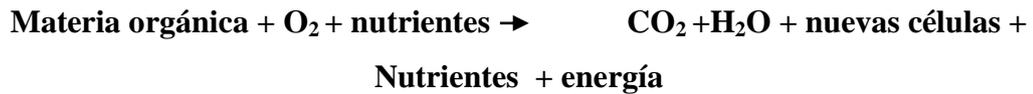
1.1.1.2.2 Hidratos de Carbono

Los hidratos de carbono están distribuidos en la naturaleza abundantemente e incluyen azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera, y todos estos están presentes en el agua residual.

Contienen carbono, oxígeno e hidrógeno. Ciertos carbohidratos como los azúcares son solubles en el agua, mientras que otros son insolubles como los almidones. (1)

1.1.1.2.3 DBO

La oxidación microbial o mineralización de la materia orgánica es una de las principales reacciones que se producen en los cuerpos naturales de agua, la cual se produce por acción de microorganismos heterotróficos, a los cuales hay que cuantificar.



Para conocer la concentración de materia orgánica en las aguas residuales el ensayo más importante para su determinación es la DBO a cinco días.

La DBO es el oxígeno utilizado por los microorganismos durante la transformación de la materia orgánica presente en el agua residual, la determinación de la DBO se la realiza en condiciones aeróbicas en un período de 5 días a 20⁰C.

El valor de la DBO en aguas residuales domésticas a 5 días, representa en promedio un 65 a 70% del total de materia orgánica oxidable. (4)

1.1.1.2.4 Demanda Química de Oxígeno

La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno disuelto consumido por una determinada cantidad de agua residual durante la oxidación, la cual se la realiza empleando agentes químicos, los cuales se caracterizan por ser fuertemente oxidante. Su determinación es más rápida que la DBO, realizándola una o dos horas si se efectúa en frío o, bien 30 minutos si se la realiza con dicromato en caliente. (1)

1.1.1.2.5 Oxígeno Disuelto OD

El oxígeno disuelto es un parámetro indispensable para el control de aguas residuales. Constituye la fuente de energía para los seres vivos y puede incrementarse por los siguientes factores:

- ✓ Captación de oxígeno en la interfase aire – agua
- ✓ Acción fotosintética por la presencia de algas verdes
- ✓ Bajas de temperatura
- ✓ Dilución

Producto de la respiración de microorganismos, algas y organismos macroscópicos, la cantidad de oxígeno disminuye, a más de estos factores, la cantidad de oxígeno disuelto se ve afectada por incrementos en la temperatura, reacciones químicas, y por la acción metabólica de los organismos. (1)

1.1.1.2.6 Grasas y Aceites

Son sustancias poco solubles que se separan del agua residual y flotan formando natas, películas y capas sobre el agua, muy ofensivas estéticamente. Las grasas, aceites y ceras son los principales lípidos que se encuentran en un agua residual. Las bacterias las emplean como alimento, debido a que pueden ser hidrolizadas en los ácidos grasos y alcoholes correspondientes. (4)

Los aceites y grasas generalmente son biodegradables ya que en su mayoría son de origen animal y vegetal y se los puede tratar en plantas biológicas. Sin embargo grandes cantidades de grasas emulsificadas como las que provienen de mataderos, frigoríficos, lavanderías y otras industrias ocasionan graves problemas al momento de realizar el mantenimiento en las plantas de tratamiento.

Cuando se trata de grasas y aceites de origen mineral se debe realizar un tratamiento previo ya que en su gran mayoría no son biodegradables y deben ser removidos antes de ingresar al tratamiento biológico. Sin embargo, aún no se conoce algún tipo de proceso que se emplee para diferenciar las grasas y aceites vegetales o animales de las de origen mineral. (4)

1.1.1.2.7 pH

Son muy difíciles de tratar biológicamente aguas residuales que presenten concentraciones adversas de pH ya que alteran la biota de las fuentes receptoras y en muchos de los casos se acaba con la vida de los microorganismos. En un tratamiento biológico, si el agua tiene un pH menor a 6, se produce la proliferación de hongos sobre las bacterias. A pH bajo el cloro se hace presente ya que predomina el ácido hipocloroso (HClO), el cual tiene poder bactericida; por el contrario si las aguas residuales presentan pH alto éstas tendrán nitrógeno en forma gaseosa no iónica (NH₃), la cual es tóxica sin embargo se la puede remover mediante arrastre con aire, especialmente cuando el pH presenta valores entre 10,5 y 11,4. Para que un determinado tratamiento sea ideal y para que la existencia de la mayoría de vida biológica sea la adecuada los valores de pH que debe presentar el agua deben ser generalmente de 6,5 a 8,5. (4)

1.1.1.2.8 Detergentes

Son compuestos de materiales orgánicos superficialmente activos en soluciones acuosas. Las moléculas se caracterizan por ser grandes, un extremo de la molécula es muy soluble en agua y el otro extremo es soluble en aceites; generalmente se componen de sales de sodio o de potasio. Cuando los detergentes entran en contacto con el agua perturban su tensión superficial y provocan la formación de burbujas, esto se ocasiona gracias a su contenido de agentes superficiales activos o surfactantes las cuales son sustancias que se combinan en una sola molécula un grupo hidrofóbico con un hidrofílico, los dos se caracterizan por ser grupos fuertes. (19)

1.1.1.3 Características Biológicas

En las aguas residuales se hacen presentes grandes cantidades de microorganismos (algunos de ellos son patógenos). Entre los principales se debe mencionar al virus de la Hepatitis, coliformes, entre otros. (11)

1.1.1.3.1 Microorganismos patógenos

Generalmente se los encuentra en las aguas residuales domésticas, se los puede encontrar en todas sus formas como bacterias, virus, protozoarios y helmintos. Algunos de ellos son descargados al ambiente por portadores. Es poco común que se encuentren en las aguas residuales ya que algunos de estos microorganismos son causantes de enfermedades severas, pero por seguridad se asume que están presentes en un número considerable y son un peligro para la salud. Ventajosamente se cual sea el tratamiento que se le dé al agua residual pocos o casi ningún microorganismo sobrevive. (5)

1.1.1.3.2 Bacterias

Son microorganismos unicelulares los cuales constituyen la menor forma de vida capaz de sintetizar el protoplasma a partir de su ambiente y no presentan coloración alguna. Presentan diversas formas: cilíndrica o de bastón (bacilos), oval o esférica (cocos) o espirales (espirilos).

Cuando se trata de descomposición y estabilización de la materia orgánica, las bacterias cumplen el rol más importante. (4).

La mayoría de los desórdenes intestinales están relacionados a las enfermedades provocadas por bacterias patógenas transportadas por el agua. (5)

1.1.1.3.3 Virus

Son estructuras biológicas inferiores las cuales poseen toda la información genética necesaria para efectuar su propia reproducción. Son parásitos obligados que requieren de un huésped en donde alojarse para poder iniciar con la reproducción y causar una infección. Los desórdenes en el sistema nervioso son los principales síntomas cuando ha ocurrido una infección a causa de virus. (5)

Los virus representan uno de los riesgos más importantes para la salud, para poder ser eliminados se necesita de dosis de cloro que superen a las normales o a las del punto de quiebre, para lo cual es necesario que se vuelva a clorar a las aguas residuales. (4)

1.1.1.3.4 Protozoarios

Son organismos unicelulares más complejos que las bacterias y los virus a pesar de representar el nivel inferior de la vida animal. Se caracterizan por adaptarse a cualquier medio con facilidad, los protozoarios se distribuyen ampliamente en las aguas naturales y solo algunos de ellos son patógenos cuando se encuentran en sistemas acuosos. (5)

Las bacterias y otros microorganismos son el principal alimento de los protozoarios y por esta razón son de mucha importancia al momento de realizar un tratamiento biológico de las aguas residuales ya que mejoran la calidad de las aguas y la eficiencia del tratamiento biológico. (4)

1.1.2 Tipos De Aguas Residuales

Del origen de las aguas residuales depende su composición y su clasificación se la hace la hace tomando todos estos aspectos como base para un correcto tratamiento.

1.1.2.1 Aguas Residuales Urbanas

Son las descargas que se generan dentro de los núcleos de población urbana como producto de sus actividades cotidianas que se realizan dentro de éstas.

Las aguas residuales urbanas están formadas de:

- ✓ Aguas negras o fecales
- ✓ Aguas de lavado doméstico
- ✓ Aguas provenientes del sistema de drenaje de calles y avenidas
- ✓ Aguas de lluvia y lixiviados

Dependiendo de la composición y la carga contaminante del agua residual se conoce su homogeneidad. Pero esta homogeneidad no es la misma debido a que cambia al momento de realizar los respectivos análisis de los vertidos, ya que en ésta influye el tipo de población en el que se generen las descargas, en el cual se analiza el número de habitantes, la presencia o no de industrias dentro del núcleo y si existen industrias conocer de qué tipo de industria se trata, etc. (5)

1.1.2.2 Aguas Residuales Industriales

Son aquellas que se producen al realizar cualquier actividad en el que se emplee agua para diversos procesos como producción, transformación o manipulación. El caudal y composición de las aguas residuales van a depender del tipo industria y de los procesos que se realicen dentro de las mismas, también va a depender de las características de las descargas ya que estas varían de una industria a otra así como dentro de las mismas por la variación que puedan ocurrir en sus procesos.

Antes de que las aguas residuales industriales sean descargadas al sistema de alcantarillado, en la mayoría de los casos requieren un tratamiento previo; ya que las características de estas aguas cambian constantemente, por lo que los procesos de tratamiento también son cambiantes. Sin embargo, muchas de las veces los tratamientos empleados para tratar aguas residuales municipales se utilizan también con las aguas residuales industriales. (5)

1.1.3 Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual

En la Tabla I se detallan los contaminantes de importancia al momento de realizar un tratamiento en particular del agua residual. Para realizar un tratamiento secundario se debe basar en los porcentajes de eliminación de la materia orgánica, sólidos en suspensión y patógenos presentes. La mayoría de normas establecidas nacional e internacionalmente exigen la eliminación de nutrientes y de los contaminantes prioritarios. Si se desea utilizar nuevamente el agua residual, las normativas son más exigentes, se debe eliminar por completo compuestos orgánicos refractarios, metales pesados y, en algunos casos, sólidos inorgánicos disueltos. (18)

Tabla I.- Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual

| Contaminantes | Razón de Importancia |
|---------------------------------------|--|
| Sólidos en suspensión | Su presencia puede ocasionar el desarrollo de depósitos de fango y provocar ambientes anaeróbicos cuando el agua residual se descarga sin tratar en un cuerpo hídrico. |
| Materia orgánica biodegradable | Se compone de proteínas, carbohidratos, grasas animales, entre otros. Si son descargados sin un tratamiento a cuerpos receptores, puede provocar el agotamiento del oxígeno en los recursos naturales provocando condiciones sépticas. |
| Patógenos | Son causantes de enfermedades contagiosas, los cuales son provenientes de cuerpos receptores que están en contacto con el agua residual. |
| | Nutrientes como el nitrógeno, fósforo y carbono, son esenciales para el crecimiento microbial. Cuando entran en |

| | |
|--------------------------------------|--|
| Nutrientes | contacto con el agua pueden provocar el crecimiento de una vida acuática no deseada. |
| Contaminantes prioritarios | Son compuestos orgánicos o inorgánicos presentes en el agua residual determinados en base a su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad. |
| Materia Orgánica Refractaria | Esta materia orgánica se caracteriza por resistir los métodos convencionales de tratamiento. Son ejemplos de estos: los agentes tensoactivos, los fenoles y los pesticidas agrícolas. |
| Metales Pesados | Los metales pesados son incorporados al agua residual durante las actividades comerciales e industriales, y si se pretende utilizarla nuevamente es necesario eliminarlos. |
| Sólidos inorgánicos disueltos | Son ejemplos de sólidos inorgánicos disueltos: el calcio, sodio y los sulfatos. Son incorporados al agua como consecuencia del uso de la misma, y si se pretende utilizarla nuevamente se debería eliminarlos. |

Fuente: Centro de investigación y desarrollo del agua. Universidad de Salamanca

1.1.4 Tratamiento De Aguas Residuales

El tratamiento de aguas residuales se dividen generalmente en: primario, secundario y terciario.

1.1.4.1 Tratamientos primarios

Estos tipos de tratamientos son los más sencillos al momento de depurar el agua residual, para lo cual se debe prepararla eliminando todas las partículas que puedan dificultar los tratamientos siguientes. Estos tratamientos comprenden: el cribado o las mallas, la flotación o eliminación de grasas y la sedimentación. A la flotación y la sedimentación, se las pueden incluir dentro de los tratamientos secundarios y no como un proceso aislado. (2)

1.1.4.1.1 Mallas o barreras

El agua residual generada por diversas actividades puede traer consigo material flotante los cuales generalmente provienen de mantos superficiales, los cuales son contaminados con residuos de grandes tamaños como: papel, plásticos, troncos de madera etc., si éstos no son retirados del tratamiento pueden ocasionar daños a los sistemas, obstaculizando las tuberías y bloqueando los procesos de tratamiento al agua residual. Las mallas a ser empleadas deben ser fabricadas con un material anticorrosivo para evitar el desgaste con la fricción al momento del contacto con el agua. (2)

1.1.4.1.2 Eliminación de aceite y grasas

Debido a la viscosidad que presentan los aceites y grasas que llegan a las plantas de tratamiento, se puede presentar algunos daños en los procesos y generar dificultades al momento de realizar la limpieza ya que se obstruyen las rejillas, ductos y el sistema aireación.

Para poder dar un tratamiento a las grasas y aceites, el tratamiento más sencillo es la implementación de trampas de grasas, en esta operación se emplean tubos horizontales con orificios en la parte superior de los tanques, con el fin de que la película de aceite quede atrapada y posteriormente sea removida. (2)

1.1.4.1.3 Sedimentación

La sedimentación tiene como objetivo conseguir que las partículas suspendidas en el agua se separen. Su tratamiento es simple, únicamente se emplea la gravedad cuando se trata de partículas grandes, mientras que cuando las partículas son finas se hace uso de coagulantes y de esta manera se puede remover las partículas del agua.

Para lograr una sedimentación adecuada por gravedad o decantación simple únicamente se necesita de factores como luz solar, aireación y la fricción entre partículas.

Para el diseño de los tanques de sedimentación en lo referente a forma y tamaño, hay que tomar en cuenta el volumen de agua que se vaya a manejar, el tipo de agua residual y los mecanismos de auto limpieza empleados.

El flujo de agua en los tanques de sedimentación debe ser constante, el cual puede ingresar por la parte superior, inferior o ser horizontal como es común en algunos tanques rectangulares. (2)

1.1.4.2 Tratamientos secundarios

El tratamiento secundario se emplea para remover por sedimentación los compuestos orgánicos que están disueltos en ella, de igual manera se remueve la biomasa, la cual sufre transformación biológica. Al lograr la suspensión de la biomasa en el agua residual se logra que los microorganismos entren en contacto con los compuestos orgánicos, también se puede realizar haciendo pasar el agua residual sobre una película de biomasa que se encuentre adherida a una superficie sólida.

El sistema de biomasa suspendida generalmente se presenta en el proceso de lodos activados. (22)

Una vez que el agua residual ha pasado por un tratamiento primario, aún existen sólidos suspendidos con un porcentaje de entre el 40% al 50%. Se debe reducir en el mayor porcentaje posible a los sólidos suspendidos como a los disueltos para poder cumplir con la normativa vigente. (22)

Se emplea el tratamiento secundario para remover los compuestos orgánicos que no han sido eliminados en los tratamientos previos; se emplean procesos físico-químicos o procesos biológicos. En los procesos físico-químicos se emplean algunas operaciones y procesos unitarios como coagulación, micro cribado, filtración, oxidación química, adsorción con carbono y otros procesos para remover los sólidos y reducir la DBO a niveles aceptables. Estos tratamientos son poco empleados ya que los costos de operación son muy elevados. Mientras los procesos biológicos son utilizados en todos los sistemas municipales por sus costos accesibles. (22)

Los microorganismos emplean como alimento a los compuestos orgánicos que se encuentran en el agua durante el tratamiento biológico, produciendo así la biomasa. En el agua existen varios tipos de microorganismos ya que en ella se almacenan diversas sustancias orgánicas, formándose un cultivo mezclado. (22)

En el tratamiento de las aguas residuales, los microorganismos forman parte de la misma, por lo general, son los mismos que encontramos en las aguas dulces y que intervienen en la degradación del material orgánico. Sin embargo, en las plantas de tratamiento de aguas residuales los procesos no son los mismos a los naturales, ya que en ellas todos los procesos son controlados mediante el empleo de reactores previamente diseñados con el fin de aprovechar los tiempos de tratamiento y eliminación de compuestos orgánicos. Con los métodos de ingeniería la remoción de materiales no deseados se la realiza en unas cuantas horas, mientras que con métodos naturales se realiza la remoción en varios días. (22)

1.1.4.3 Tratamientos terciarios

Se basa en tratamientos físicos químicos especiales, con los cuales se elimina de las aguas residuales contaminantes como: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, etc. Se diferencia de los tratamientos anteriores ya que es más completo y se lo emplea en casos especiales en donde las aguas deban ser purificadas.

Si se busca la eliminación de la mayor parte de contaminantes presentes en las aguas residuales, se debe recurrir a los tratamientos terciarios. (22)

1.1.4.3.1 Ósmosis inversa

La ósmosis inversa elimina totalmente las sales disueltas y solutos de peso molecular bajo, así como los sólidos suspendidos. Es por esta razón que cuando se necesita agua pura y que sea empleada para beber se debe recurrir a las membranas de ósmosis inversa. (26)

1.1.4.3.2 Electrodiálisis

Para la electrodiálisis se emplean membranas las cuales tienen zonas cargadas y poros muy angostos de entre 1 y 2 nm. La célula de electrodiálisis está compuesta por una zona con membranas de intercambio catiónico y aniónico entre un ánodo y un cátodo, de manera que cuando se aplica corriente eléctrica los iones con carga positiva se dirigen a través de la membrana de intercambio catiónico y viceversa. (26)

1.1.4.3.3 Destilación

Para realizar este proceso se debe hervir las aguas residuales para obtener los vapores de la misma. Con un sistema debidamente diseñado los contaminantes orgánicos e inorgánicos así como las impurezas biológicas pueden ser extraídas, ya que la mayoría de contaminantes no se vaporizan. El agua pasa hacia un condensador y los contaminantes se acumularán en la cámara de evaporación. (26)

1.1.4.3.4 Coagulación - Flocculación

Este proceso se realiza haciendo uso de coagulantes o floculantes, con los cuales se logra la acumulación de partículas que forman pequeñas masas llamadas flocs, de manera que logren un peso específico mayor que la del agua y así puedan precipitar. (26)

1.1.4.3.5 Adsorción

En este tipo de tratamiento se utiliza un sólido conocido como carbón activado el cual permite eliminar sustancias que sean solubles en el agua. El carbón activo emplea cuando se pretende para alcanzar superficies internas muy grandes (entre 500 – 1500 m² /g). El carbón activado tiene una adsorción adecuada cuando las superficies internas son lo suficientemente grandes. A éste sólido se lo puede encontrar como carbón activado en polvo (PAC) o carbón activado granular (GAC). (26)

1.1.4.3.6 Filtración

Cuando se desea eliminar los sólidos que se encuentran en suspensión en el agua se emplea la filtración. Las aguas al ser tratadas mediante la filtración deben estar libres totalmente de sólidos (suciedad, cieno, entre otras) para impedir que el nuevo uso que se le quiera dar al agua se vea obstaculizado. Las tecnologías de filtración incluyen: Filtros de lecho, Filtros de cartucho y Filtros de bolsa. (26)

1.1.4.3.7 Extracción por solvente

También conocida como extracción líquido-líquido, en éste proceso se emplea la técnica de separación, en la cual se realiza la transferencia de masa entre dos fases inmiscibles. Los metales que deben ser removidos son transferidos de una fase acuosa a una orgánica o viceversa.

Este proceso se emplea para purificar el agua mediante la concentración de metales, en el cual solamente se necesita que el metal sea trasladado de una fase acuosa a una orgánica de forma selectiva. (26)

1.1.4.3.8 Intercambio iónico

Este proceso se emplea para diferentes fines, en el cual se produce el reemplazo de un ión por otro de la misma carga. Con el intercambio iónico se puede realizar desde la extracción de disolventes sólidos en el agua hasta la eliminación de la dureza de la misma, ya se reemplaza el calcio y el magnesio que se encuentran en el agua por el ión sodio.

Para conseguir que este procedimiento sea efectivo el agua no debe presentar turbidez ni material particulado o la resina empleada podría desempeñar el papel de un filtro provocando obstrucciones en el sistema. También se emplea otro método, en el cual se utilizan membranas microporosas compuestas por acetato de celulosa con una capa que tienen aberturas microscópicas las cuales dejan pasar las moléculas de agua e impiden el paso de los sólidos. (26)

1.1.4.3.9 Oxidación química

Se lo puede aplicar como un tratamiento alternativo a la adsorción en el cual se emplean oxidantes como el cloro y el ozono y a las moléculas orgánicas se las puede tratar dentro de un compartimiento en donde se produce la oxidación. Con la oxidación química se logra la eliminación de compuestos de amonio y la oxidación de sustancias inorgánicas como el hierro y manganeso. (26)

1.1.4.3.10 Precipitación

Con este proceso se logra una disminución de la DBO Y DQO en aproximadamente el 50%. La precipitación genera una cantidad considerable de lodos los cuales son muy propensos a la putrefacción y a más de esto se encuentran altamente contaminados.

Es por las grandes cantidades de lodos que se producen y los problemas que éstos ocasionan que éste proceso se lo utiliza cada vez menos. (26)

1.1.4.3.11 Nitrificación – Denitrificación

Se emplea para la eliminación de nitrógeno y materia orgánica, éste proceso se lo realiza gracias a la acción de grupos de microorganismos bacterianos que son utilizados en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Si el agua a ser tratada tiene como destino final embalses o reservorios que vayan a ser utilizados como agua potable, la eliminación de la materia nitrogenada es necesaria.

La nitrificación consiste en la oxidación del nitrógeno orgánico y amoniacal, convirtiéndose en nitrito y, posteriormente en nitrato.

Estas reacciones la realizan bacterias especializadas, las cuales son totalmente diferentes de aquellas que se degradan la materia orgánica.

La desnitrificación se lleva a cabo mediante la acción de bacterias conocidas como desnitrificantes, en la cual se produce la transformación de nitratos a nitrógeno atmosférico, de esta manera el nitrógeno saldrá a la atmósfera, logrando su eliminación del agua. (26)

1.1.5 TRATAMIENTO POR LODOS ACTIVADOS

El tratamiento de lodos activados fue propuesto y desarrollado en 1914 por Arden y Lockett en Inglaterra. Después de que el agua a tratar pasa por un tratamiento primario ingresa al sistema de lodos activados, con lo cual la muestra se agita y posteriormente se produce la formación de flóculos (grumos) de lodo en el que las bacterias y otros microorganismos se desarrollan, de esta manera éste flóculo se vuelve activo (lodo activo), oxidando y absorbiendo materia orgánica. Cuando los lodos se han formado, éstos junto con los microorganismos se acumulan en la base del reactor de clarificación y con ellos también los sólidos suspendidos y disueltos. En el reactor de clarificación, se localizan los lodos sedimentados, los cuales están completamente cargados de microorganismos vivos. Mediante recirculación los lodos ingresan nuevamente al reactor de aireación con la finalidad de incrementar la biomasa y así acelerar las reacciones. Cuando entran en contacto las aguas a tratar en el reactor de aireación con los lodos provenientes de la recirculación se forma lo que se conoce como licor mezclado. (5)

El proceso de lodos activados consiste en poner en contacto al agua a tratar con el lodo generado formando una población de microorganismos, los cuales deben permanecer suspendidos mientras todo el contenido del reactor esté en constante aireación. La materia presente en el agua residual ya sea en suspensión o coloidal van eliminándose rápidamente por la presencia de flóculos microbianos por absorción y aglomeración. Posteriormente y de manera más lenta, los nutrientes y materia disuelta en el agua se descomponen por metabolismo microbiano, proceso llamado “estabilización”. Dentro de éste se produce la mineralización, en la que se forma CO_2 producto de la oxidación

del material nutriente a sustancias más simples, y otra parte del mismo forma una nueva materia celular microbiana, este proceso se lo conoce como “asimilación”. Una vez que se logra el nivel de tratamiento deseado, la masa microbiana floculenta o “lodo”, se separa del agua residual por asentamiento. (6)

“Clarificación”, “asentamiento” o “sedimentación” son los nombres con los que se conoce a la etapa en la que el lodo se separa del agua tratada. Durante la separación el sobrenadante presente corresponde al agua residual tratada, la cual ya no debe presentar lodos. Los lodos que han precipitado en el proceso de separación regresan en su mayor parte al reactor en donde se produce la aireación con el fin de mantener la concentración de los lodos al nivel necesario para un tratamiento efectivo. A la parte de los lodos que se extraen para su descarga se los conoce como “lodos activados desechados o excedentes”. (6)

El tratamiento de aguas residuales por lodos activos es de gran importancia al momento de eliminar materias disueltas, iónicas y en suspensión, así como para lograr una separación rápida, eficiente y económica de la masa microbiana. (6)

Los microorganismos dispersos no floculentos son empleados en el tratamiento de aguas residuales, pero éstos al ser difíciles de excluir del agua ya tratada generalmente se los emplea antes de un tratamiento biológico. (6).

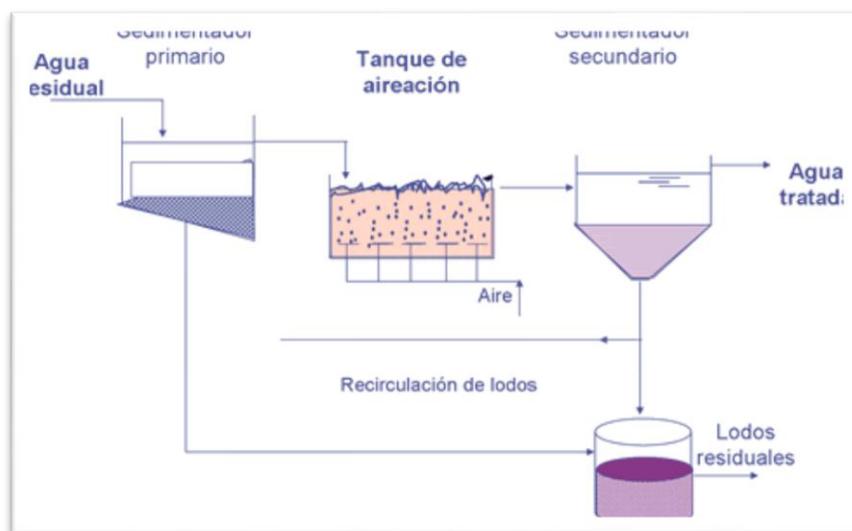


Figura 1.- Esquema de tratamiento de aguas residuales por fangos activos (Tomado de Soluciones en tratamiento y purificación del agua 2011)

1.1.5.1 Variaciones del proceso de lodos activados

Las variaciones más comunes son descritas a continuación:

Cuando se trata de un sistema de lodos activados convencional, la tasa de oxidación es máxima en el extremo de entrada del tanque y en muchos de los casos las condiciones aeróbicas son difíciles de mantener con una distribución de aire uniforme.

La Figura N° 2 muestra una variación del sistema de lodos activados que busca solucionar este problema, conocida como aireación por pasos, en la cual se ingresa el material orgánico en el reactor en incrementos o pasos. Al adicionar de ésta forma se logra una remoción uniforme de la DBO a través de todo el tanque. (5)

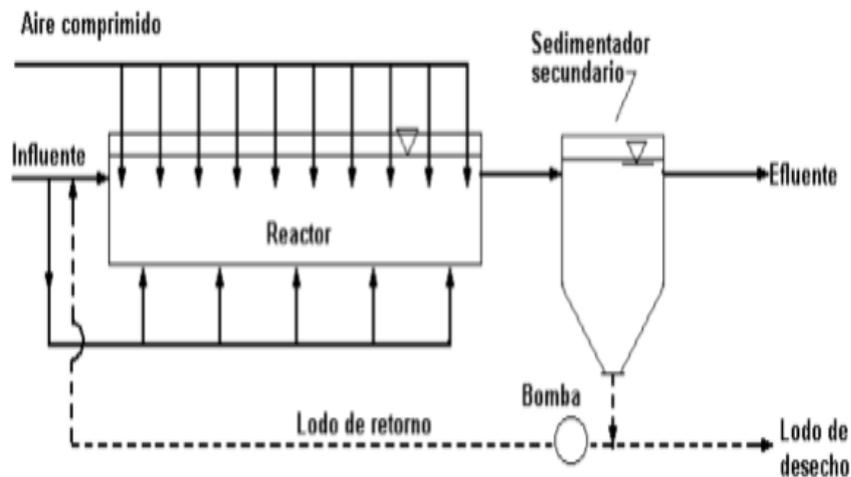


Figura 2.- Aireación por pasos (tomado de VALDEZ, Enrique César y VASQUEZ, Alba. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales)

En la variación del sistema conocida como aireación piramidal, como se puede ver en la Figura N°3, el ingreso de aire al reactor se reduce progresivamente a lo largo del mismo, de manera que el volumen total de aire es el mismo que en el sistema convencional, el aire se concentra más a la entrada del reactor para hacer frente a la alta demanda que ahí se presenta, lo que quiere decir que se agrega aire en proporción a la DBO ejercida. (5)

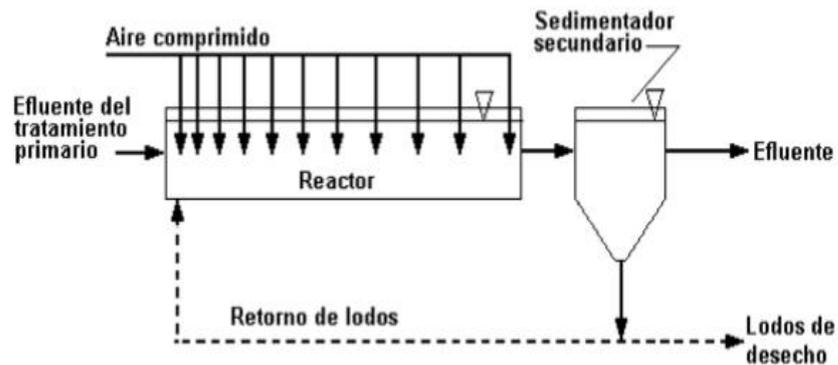


Figura 3.- Aireación piramidal (tomado de VALDEZ, Enrique César y VASQUEZ, Alba. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales)

La Figura N°4 muestra la variación conocida como estabilización por contacto. En éste proceso el agua a tratar se mezcla con los lodos activos que han sido recirculados y se airea de 30 minutos a 1 hora. (5)

Durante este tiempo los contaminantes orgánicos son absorbidos por los microorganismos pero no logran ser estabilizados. Posteriormente, el licor mezclado ingresa al sedimentador secundario y el lodo activado sedimenta; el agua residual clarificada pasa hacia el vertedor del efluente y el lodo que ha sedimentado se bombea hacia el interior de otro reactor de aireación o estabilización. En el reactor de estabilización el contenido presente en el mismo es aireado durante 2 a 3 horas, lapso en el cual los microorganismos descomponen el material orgánico absorbido. La concentración de los sólidos en el tanque de contacto es de aproximadamente 2000 mg/L, mientras que en la unidad de digestión su concentración incrementa logrando valores de hasta 20 000 mg/L. (5)

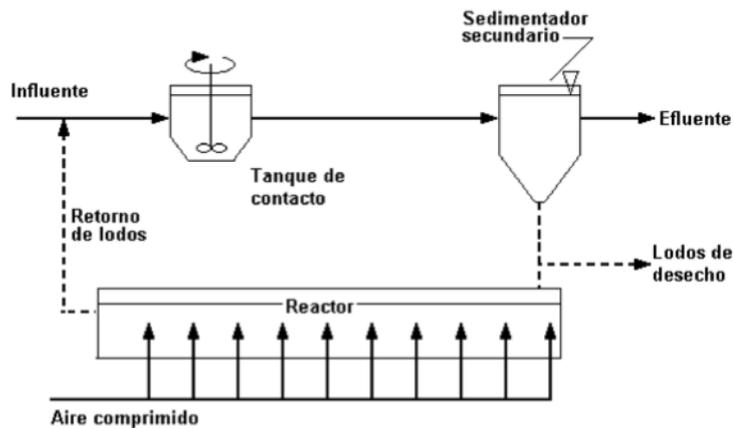


Figura 4.- Estabilización por Contacto (tomado de VALDEZ, Enrique César y VASQUEZ, Alba. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales)

Ya que el porcentaje de oxígeno que se hace presente en la atmósfera es de tan solo del 21%, lo más aconsejable es emplear oxígeno puro mediante inyección del mismo en el licor mezclado en una planta de tratamiento de lodos activados. (5)

La Figura N° 5 ejemplifica el diagrama de flujo de lodos activados al momento de emplear oxígeno puro, el cual se lo obtiene de la misma planta de tratamiento. En el efluente del tratamiento primario, los lodos de retorno y el oxígeno se introducen en el primer compartimiento de un tanque el cual contiene multietapas y debe permanecer cubierto. (5)

Haciendo uso de agitadores mecánicos se logra que el oxígeno sea mezclado uniformemente en todo el reactor. Se conoce que estas unidades pueden operar a niveles altos de SSLM de entre 6000 a 8000 mg/L, al mismo tiempo la sedimentación que se produce es buena y al no consumir grandes cantidades de energía resulta también económica. (5)

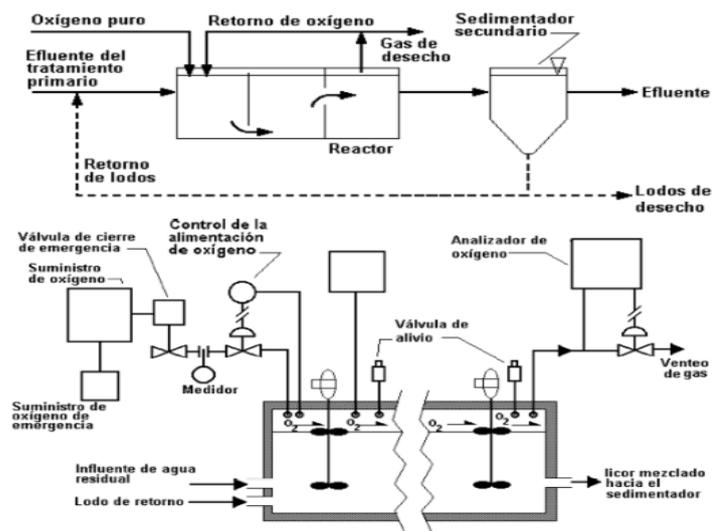


Figura 5.- Lodos activados con oxígeno puro (tomado de VALDEZ, Enrique César y VASQUEZ, Alba. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales)

1.1.5.2 Operación Básica

- a) **Pre-tratamiento/Ajuste de Aguas Residuales.-** Cuando se desea realizar el proceso de lodos activos en aguas residuales, en la mayoría de los casos, deben tener un pre-tratamiento con el fin de evitar que los procesos biológicos a ser empleados se vean obstaculizados por la presencia de elementos biológicos de tamaños considerables como elevadas cantidades de sólidos y de igual manera aguas residuales con valores anormales de pH, etc). (2)
- b) **Remoción de DBO en un Tanque de Aireación.-** Cuando el lodo activado ha recirculado al tanque de aireación se mezcla nuevamente con aguas residuales crudas y al entrar en contacto con el aire se alcanzan valores de oxígeno disuelto de 2mg/L o más, en donde una parte de materia orgánica contenida es mineralizada y gasificada, y otra parte, es considerada como nuevas bacterias. (2)
- c) **Operación Sólido-Líquido en el tanque de sedimentación.-** A los lodos que se forman en el reactor de sedimentación se los debe separar del licor mezcla, esto se lo realiza en el reactor de sedimentación, que, por acción de la gravedad se

concentran en la base. Con este proceso se pretende conseguir agua tratada con un valor mínimo de sólidos suspendidos, asegurando el retorno efectivo de los lodos. (2)

- d) Descarga del Exceso de Lodos.-** Un determinado porcentaje de lodos que se generan en la planta de tratamiento se eliminan a lechos de secado en los cuales se obtienen lodos secos como residuo sólido, esto se lo realiza para mantener a los lodos activados en concentraciones óptimas en el licor mezclado.(2)

1.1.5.3 Factores relacionados con el proceso de Lodos Activados

- a) Concentración del Agua Cruda:** El desarrollo de los microorganismos se verá afectado por cualquier cambio que se presente en las características del agua cruda, así si la carga orgánica ($DBO_{5,20}$) disminuye no habrá suficiente alimento para los microorganismos y disminuirán su tasa de crecimiento de modo que población microbiológica del sistema se reducirá; lo cual dará lugar a un efluente con incremento en la concentración de sólidos suspendidos al formarse un floc de rápida sedimentación que no ayuda al arrastre de partículas finas y coloidales.

Mientras que por el contrario, si se incrementa dicha carga habrá demasiado alimento para los microorganismos, este hará que la tasa de reproducción aumente y se producirá un lodo activo joven, ocasionando un crecimiento disperso de la población, dando así una sedimentación secundaria pobre (13).

- b) Nutrientes:** Son necesarios para un adecuado desarrollo de los microorganismos, así cuando no se tiene suficiente nitrógeno se desarrolla una población dispersa o filamentosa que sedimenta pobremente, pudiendo también inhibir la formación de nuevas moléculas (13).

- c) Oxígeno Disuelto:** Se requiere agregar oxígeno al tanque de aireación para mantener viva la población aerobia. Para el proceso de lodos activos se recomienda que el equipo de aireación deba ser capaz de mantener una

concentración de oxígeno disuelto en todos los puntos del tanque de aireación entre 1,5 mg/L y 4 mg/L; con un valor de 2 mg/L que es el normalmente empleado. (13).

- d) Tiempo de Retención:** Es un factor importante de operación, por lo que el tiempo que las bacterias están en contacto con el alimento de las aguas residuales debe ser suficiente de modo que las bacterias puedan asimilar la materia orgánica presente. Si el tiempo de retención en el tanque de aeración es muy pequeño, no toda la materia orgánica será removida, y el efluente tendrá valores altos de DBO_5 (13).

- e) pH:** Se conoce que las bacterias pueden sobrevivir en un rango de pH entre 5 y 10 y reproducirse entre un pH de 6.5 y 8, mientras que por debajo de 6.5 predominan los hongos sobre las bacterias dando como resultado una baja remoción de DBO_5 y una pobre sedimentación. Al tener valores de pH alto nutrientes como el fósforo empiezan a precipitar por lo que ya no puede ser empleado por las bacterias, dando también una baja remoción de DBO_5 por lo que existen ciertos rangos que se deben mantener a lo largo del proceso (13).

- f) Toxicidad:** Se presentan dos tipos de toxicidad siendo la primera la aguda que puede ser detectada rápidamente ya que la población biológica puede morir y se presenta por altas concentraciones de sustancias tóxicas tales como cianuro o arsénico. Por otro lado tenemos la toxicidad crónica que es difícil debido a que se presenta lentamente y se puede presentar por ejemplo al aumentar el cobre gradualmente en las bacterias, mientras estas son recirculadas una y otra vez en el sistema (13).

- g) Temperatura:** Afecta directamente el nivel de actividad de las bacterias en los sistemas de lodos activados ya que se sabe que a mayor temperatura aumenta la actividad bacteriana así como al disminuir la actividad decrecerá. Teniendo así que un rango óptimo para la actividad bacteriana aerobia es entre 25 y 32°C, por

cada cambio en la temperatura de 10°C, la actividad bacteriana varía con un factor de 2 (13).

- h) Mezcla:** Es importante que las bacterias se encuentren en constante movimiento para evitar su sedimentación; además para que puedan entrar en contacto con la materia orgánica de las aguas residuales y entre sí para dar lugar a la formación de un flóculo que sedimentará. Esto se logra manteniendo el tanque de aireación completamente mezclado (13).

Como indicadores de mezclado podemos tomar en cuenta los siguientes: la formación de depósitos de sólidos en las esquinas del tanque de aeración, la detección de zonas con concentraciones de cero oxígeno disuelto en el tanque de aeración, y por último la detección de zonas con diferencias significativas en concentración, ya sea de OD o de sólidos suspendidos (13).

- i) Hidráulica:** El tiempo de retención se verá afectado y disminuirá por el incremento de gasto por arriba de los valores de diseño, lo cual reducirá la eficiencia de operación del tratamiento.

1.1.5.4 Microorganismo en el proceso de lodos activos

La identificación de los principales grupos de microorganismos que existen en el proceso es indispensable para evaluar la calidad del lodo, dicha identificación se la puede realizar mediante un microscopio de bajo poder de magnificación (100 X a 400 X), pues no es necesario identificar entre especies (16).

El predominio de protozoos, rotíferos y gusanos como los nematodos, está relacionada con la calidad del lodo activado, con los parámetros operativos y la edad del lodo, así como también es importante saber que los protozoos y los rotíferos son organismos depuradores del agua residual en donde los primeros consumen bacterias dispersas no floculadas y los segundos, partículas de floc biológico suspendidas (16).

A continuación se mencionan los tipos de microorganismos presentes según diversos factores que se presentan a lo largo del tratamiento:

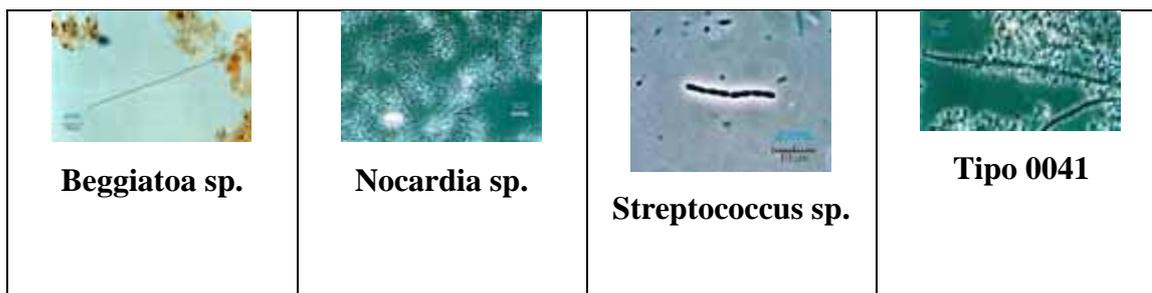
- ✓ Al dar inicio al funcionamiento de una planta de lodos activados se forma muy poco lodo debido al predominio de las amibas.
- ✓ En lodos dispersos, no floculentos con producción de un efluente de baja calidad, predominan los flagelados y se puede ver la existencia de relaciones A/M altas y edades de lodos bajas.
- ✓ Los ciliados libres predominan cuando su alimento es decir las bacterias son abundantes, y los ciliados adheridos al floc predominan cuando hay abundancia de bacterias.
- ✓ Si la relación A/M disminuye, en una planta convencional de lodos activados se da un predominio de los rotíferos y los nematodos, pudiendo ser el floc fino, tipo cabeza de alfiler, y la calidad del efluente se deteriora.
- ✓ Sin embargo, en plantas de lodos activados de aireación prolongada con relación A/M baja, concentración alta de biomasa en el reactor y edad de lodos prolongada, predominan los rotíferos y los nematodos y se obtiene un efluente de buena calidad (16).

Un rendimiento óptimo en el tratamiento se da cuando el lodo es de buen asentamiento y existe un equilibrio entre la población de ciliados libres y adheridos, así como de rotíferos y flagelados (16).

En la Tabla II se muestran algunos de los microorganismos que se encuentran con más frecuencias en un proceso de lodos activados.

Tabla II.- Microorganismos frecuentes en el proceso de lodos activados

| ROTÍFEROS | AMIBAS | CILIADOS FIJOS | CILIADOS LIBRES |
|---|---|--|--|
|  <p>Philodina sp.</p> |  <p>Ameboide desnudo</p> |  <p>Carchesium sp.</p> |  <p>Chilodonella sp.</p> |
|  <p>Lecane sp.</p> |  <p>Teca de Arcella</p> |  <p>Epistylis Plicatilis</p> |  <p>Prorodon teres</p> |
| <p>BACTERIAS FILAMENTOSAS</p> | | | |
|  <p>acrothrix pavicella</p> |  <p>Sphaerotilus Natans</p> |  <p>Thiothrix I</p> |  <p>Tipo 1701</p> |
| | | | |



Fuente: VIRACUCHA, Sandra., Tesis de grado “Tratamiento biológico de aguas residuales generadas en un ingenio azucarero con la tecnología de lodos activados”

1.1.5.5 Tipos de lodos activados

1.1.5.5.1 Convencional

En este proceso se emplea únicamente un tanque de aireación, un tanque sedimentador y un sistema de recirculación del lodo (bomba). Se caracteriza por operar con régimen de flujo pistón. Se utilizó este sistema como primera opción al momento de tratar aguas residuales por lodos activos, dado que los microorganismos se adaptan mejor al medio homogéneo.

Se pueden emplear difusores de aire (piedras porosas) o aireadores mecánicos como sistemas de aireación en el tratamiento de aguas residuales, con los cuales se logran eficiencias en la remoción de DBO5 entre el 85% y 95% para un tiempo de retención hidráulico que puede variar de 4 a 8 horas una vez estabilizado el sistema. (2)

1.1.5.5.2 De Mezcla Completa

Cuando se realiza un tratamiento mediante mezcla completa, las microburbujas del reactor de aireación están en contacto permanente con las bacterias y el agua residual. El lodo activado o masa activa se forma debido a que los microorganismos aumentan y se agrupan formando flóculos, los cuales sedimentarán en el siguiente reactor del sistema. Para tratar aguas residuales en ciudades con poblaciones medias, éste tipo de tratamiento es el más común a nivel mundial por ser uno de los más estudiados y seguros, ya que con éste método las eficiencias que se pueden lograr en cuanto a la remoción de contaminantes es de entre 85% y 95% con tiempos de retención hidráulico de 3 a 5 horas. (2)

1.1.5.3 Lodos de Aireación Prolongada o Extendida

Conocido también como Oxidación Total. No presenta un sedimentador primario y esto lo diferencia del sistema de mezcla completa. En éste tipo de tratamiento los tiempos de retención hidráulica aumentan (18 a 36 horas). Generalmente las aguas y lodos son digeridos parcialmente en el reactor de aireación ya que los períodos de aireación son largos. Con tiempos de retención hidráulica mayores a las 8 horas se puede conseguir eficiencias en la remoción de los contaminantes entre el 90% y 95%. (2)

1.1.5.4 Lodos de Flujo Pistón

Todas las partículas del fluido que ingresan a la unidad permanecen en ella la misma cantidad de tiempo. Es así que los elementos de fluido pasan a través del sistema y son descargados de la misma forma y secuencia en la que fueron introducidos y no hay ningún tipo de "dispersión axial" mientras el fluido se desplaza en el reactor. (2)

En la figura 6 se muestra un reactor de flujo pistón con recirculación de lodos, usado generalmente en el proceso de lodos activados. Asumiendo mezclado completo en el plano transversal pero mínimo mezclado en la dirección del flujo, la mezcla de agua residual y lodo de retorno viaja como una unidad a través del reactor. La cinética de la reacción para la producción de biomasa es similar al proceso batch, con la excepción de que inicialmente se tiene una concentración de biomasa más alta y una concentración de sustrato más baja debido al retorno de los lodos. (5)

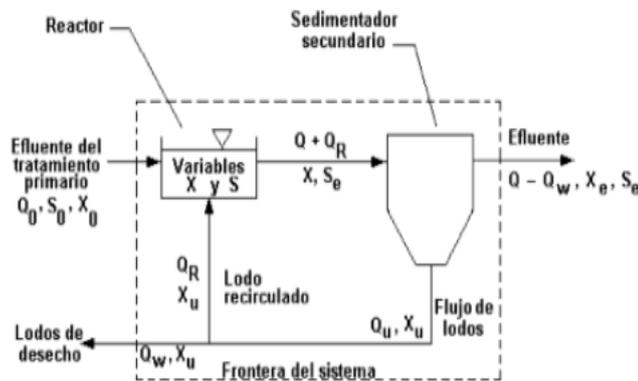


Figura 6.- Sistema típico de lodos activados con reactor de flujo pistón (tomado de VALDEZ, Enrique César y VASQUEZ, Alba. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales)

1.1.5.6 Descripción del sistema

Los elementos básicos para llevar a cabo la instalación de lodos activados son:

- ✓ **Tanque de Aireación:** Dentro de este reactor el agua se trata y los microorganismos son mezclados completamente y dentro del mismo se producen reacciones biológicas. (2)
- ✓ **Tanque Sedimentador:** En este tanque se obtiene el agua tratada y clarificada. Los sólidos que provienen del tanque aireador precipitan logrando la separación de los sólidos suspendidos (lodos activados). (25)
- ✓ **Equipo de Aireación:** Con el fin de activar a las bacterias heterofílicas se debe realizar la inyección de oxígeno en el tanque aireador empleando aireadores mecánicos o difusores de aire. (2)
- ✓ **Sistema de Retorno de Lodos:** Con la finalidad de que los microorganismos estén en concentraciones adecuadas en el tanque de aireación se realiza el proceso de recirculación de lodos, los cuales previamente deben precipitar en el reactor de sedimentación. (2)
- ✓ **Exceso de Lodos y su Disposición:** Los lodos generados en exceso en el tanque de sedimentación deben ser extraídos y tratados adecuadamente. (2)

1.1.5.7 Sistemas de aireación

Por medio de difusores de alto rendimiento el aire se propaga desde el fondo de la cámara de aireación hasta la superficie, éstos difusores están diseñados de modo que sus orificios no puedan obstaculizarse y que el líquido no pueda retornar por los agujeros de flujo de aire. Los olores que normalmente se producen en el tratamiento de aguas residuales, así como las grasas y detergentes presentes son eliminados durante éste proceso. (5)

La cantidad de oxígeno que es consumido por los microorganismos dentro del reactor biológico se denomina tasa de utilización del oxígeno. La tasa de utilización del oxígeno siempre será mayor a la tasa natural de reposición cuando se trate del proceso de lodos activados, es por esta razón que se deben emplear métodos artificiales de adición de oxígeno. (5)

Del agua residual así como del reactor va a depender la tasa de utilización de oxígeno. Durante el tratamiento de aguas residuales municipales por aireación prolongada la tasa de utilización de oxígeno es de 10 mg/L.h aproximadamente. Mientras que cuando se trata el mismo tipo de aguas residuales por medio de lodos activados de manera convencional se produce una tasa de utilización de oxígeno de 30 mg/L.h aproximadamente, y superior a 100 mg/L.h. (5)

Como se mencionó con anterioridad, para la aireación se utilizan difusores (piedras o mallas porosas), las cuales inyectan dentro del reactor biológico aire comprimido. También se lo hace mediante aireadores mecánicos los cuales hacen que el contenido se agite de manera violenta para poder introducir y distribuir aire dentro del líquido a tratarse. En los sistemas de flujo pistón generalmente se emplean difusores de aire, mientras que en sistemas completamente mezclados los aireadores mecánicos son los más empleados, aunque existen excepciones en los dos casos. (5)

a) Difusores de aire

Actualmente en el mercado existe gran diversidad de equipos difusores de aire. Entre uno de ellos se encuentran los difusores de burbujas finas, los cuales producen gran cantidad de burbujas de 2.0 a 2.5 mm de diámetro aproximadamente, mientras que los difusores de burbujas grandes generan un número mucho menor de burbujas de mayor tamaño (superior a 25 mm de diámetro). (5)

Los difusores de burbujas finas están elaborados de granos de sílice (SiO_2) u óxido de aluminio (Al_2O_3) y son soportes porosos, placas o tubos que se incluyen en una masa porosa con un cemento cerámico. Es común también utilizar tubos recubiertos de nylon, dacrón (tela sintética) o saran (malla de color negro). La formación de burbujas se produce debido al aire comprimido que atraviesa las partes porosas, se transporta el oxígeno provocando turbulencia en el reactor de aireación. Del tamaño de la burbuja va a depender el rendimiento de estos difusores; entre 5 y 15% son valores normales. (5)

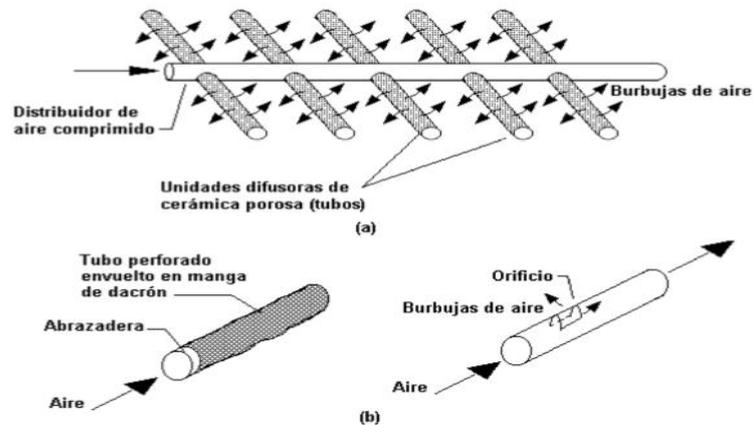


Figura 7.- Esquema de sistemas de difusión: a) de burbuja fina y b) de burbuja gruesa. (tomado de VALDEZ, Enrique César y VASQUEZ, Alba. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales)

Los difusores de burbujas finas generan mayores eficiencias que los difusores de burbujas grandes ya que alcanzan mayores volúmenes de aire por área superficial. Sin embargo, debido a las pérdidas de carga a través de los poros pequeños es necesario mayor compresión del aire lo que trae consigo mayor consumo de energía y el aire comprimido debe ser filtrado para eliminar todas las partículas que podrían obstruir los orificios del difusor los cuales son muy pequeños. (5)

b) Aireadores mecánicos

Trata solamente de arrastrar oxígeno del aire. Difiere de los aireadores de turbina o de difusión ya que no hay un flujo o corriente de aire en estos sistemas. Los aireadores mecánicos pueden tener impulsores de alta velocidad que generan grandes cantidad de aire y relativamente pequeñas cantidades de agua. (5)

Los impulsores de gran tamaño operan a velocidades bajas y agitan volúmenes grandes de agua. Éstos succionan el líquido de la parte inferior de la unidad, siendo luego esparcido hacia el exterior y hacia arriba por un mecanismo dentro de un tubo vertical. (5)

La mayoría de aireadores de superficie se fijan sobre vigas las cuales se colocan en los tanques de aireación. También pueden ser instaladas sobre un flotador de fibra de vidrio reforzado, relleno con espuma de plástico, que hace de éste un sistema insubmersible. La Figura 7 muestra un aireador mecánico de baja velocidad colocado sobre una plataforma. En el proceso de aireación extendida se emplean unidades pequeñas de alta velocidad, mientras que en los sistemas convencionales de lodos activados son comunes impulsores de baja velocidad. (5)

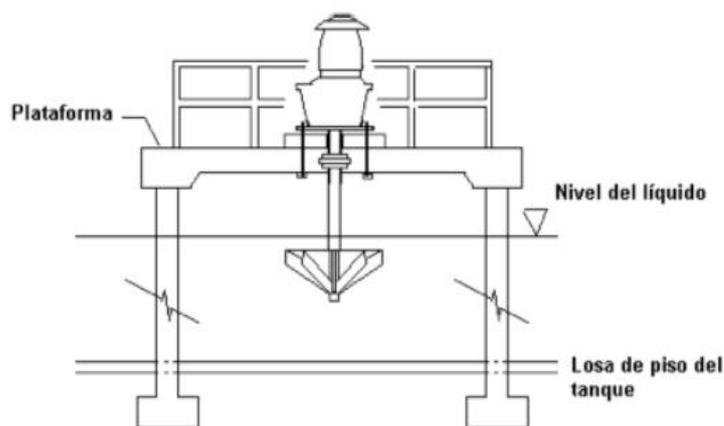


Figura 8.- Aireador mecánico de superficie, fijo sobre plataforma de baja velocidad (tomado de VALDEZ, Enrique César y VASQUEZ, Alba. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales)

La transferencia de oxígeno se obtienen de dos maneras cuando se emplean aireadores mecánicos: turbulencia y dispersión. La turbulencia es el paso de oxígeno en la superficie turbulenta del líquido y la dispersión es el paso de oxígeno a las gotas esparcidas por las paletas del sistema.

En el aireador superficial de flujo vertical está compuesto de: zona de incidencia, zona de mezcla completa y zona de influencia; la Figura 8 muestra las zonas mencionadas anteriormente. Para diseñar un aireador con el tamaño adecuado y logre el mezclado deseado, se toma en cuenta a los siguientes factores: eficiencia de la transferencia de

oxígeno, conos de entrada largos y cortos, flujo de alta velocidad, control de la erosión y potencia recomendada para mezclado completo. (5)



Figura 9.- Zonas de funcionamiento de un aireador mecánico (tomado de VALDEZ, Enrique César y VASQUEZ, Alba. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales)

Se denomina zona de agua blanca al lugar en donde se realiza la mezcla completa; en éste proceso los sólidos permanecen en suspensión. A la mezcla completa se la conoce como el proceso en el que la concentración de sólidos no varía más del 10% o la velocidad promedio es mayor o igual a 0.15 m/s. Fuera de éste rango los sólidos se sedimentan. (5)

1.1.5.8 PARÁMETROS DE DISEÑO Y CONTROL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA POR LODOS ACTIVOS A ESCALA DE LABORATORIO.

Para llevar a cabo el diseño se emplearán fórmulas tomadas de diversas bibliografías, tomando los libros encontrados en las siguientes referencias: (1), (4), (5).

Las fórmulas que se emplearán para el diseño se detallan a continuación:

1.1.5.8.1 PARÁMETROS TÍPICOS PARA EL DISEÑO DE REACTORES DE LODOS ACTIVADOS

Tabla III.- Parámetros típicos para el diseño de reactores de lodos activados

| Proceso | TRMC Días | A/M kg DBO/kg SSV·d | SSLM mg/L | TRH Horas |
|--|--------------|---------------------------|-------------------------|--------------|
| Aireación de alta tasa | 0.5-2 | 1.5-2.0 | 200-1000 | 1.5-3 |
| Contacto – estabilización | 5-10 | 0.2-0.6 | 1000-3000 6000-10000 | 0.5-1 2-4 |
| Oxígeno puro | 1-4 | 0.5-1.0 | 2000-5000 | 1-3 |
| Convencional (flujo pistón) | 3-15 | 0.2-0.4 | 1000-3000 | 4-8 |
| Completamente mezclado | 3-15 | 0.2-0.6 | 1500-4000 | 3-5 |
| Alimentación por etapas | 3-15 | 0.2-0.4 | 1500-4000 | 3-5 |
| Aireación extendida | 20-40 | 0.04-0.10 | 2000-5000 | 20-30 |
| Zanjas de oxidación | 15-30 | 0.04 | 3000-5000 | 15-30 |
| Reactores secuenciales por carga (SBR) | 10-30 | 0.04 | 2000-5000 | 15-40 |

Fuente: Metcalf & Eddy, 1991

1.1.5.8.2 REQUISITOS NUTRICIONALES

En todo tratamiento biológico es necesario que los microorganismos reciban todos los elementos necesarios para formar el protoplasma. Generalmente un agua residual doméstica contiene los elementos necesarios, mientras que ciertas aguas provenientes de procesos industriales son deficientes en algunos alimentos nutricionales primordiales, especialmente nitrógeno y fósforo.

La especie biológica predominante en el floc biológico de lodo activado está determinada por la naturaleza de los compuestos orgánicos en el agua residual que se va a tratar. Así por ejemplo, un agua residual deficiente en nitrógeno estimula el crecimiento de hongos en vez de bacterias, de modo que si existe un predominio de hongos filamentosos habría una sedimentación pobre y una baja eficiencia en la remoción de DBO.

Teóricamente, una relación de DBO/N/P de 100/5/1 es adecuada para tratamiento aeróbico, con pequeñas variaciones según el tipo de tratamiento y el modo de operación. Para tratamiento en procesos de mezcla completa de lodos activados se ha sugerido una relación DBO/N/P de 100/ 3/0,7. En general, las aguas residuales domésticas presentan un exceso de N y P, con relación de 100/17/5, lo cual permite tratamiento biológico apropiado.

En caso de que un agua residual municipal contenga un gran volumen de residuos industriales deficientes en N, se suministra nitrógeno adicional mediante la adición de amoníaco deshidratado (NH_3), y si se requiere fósforo se agrega ácido fosfórico (H_3PO_4). (4)

1.1.5.8.3 CAUDAL DEL AGUA

$$Q = \frac{V}{t} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde: V = volumen (m^3)
t = tiempo (s)

1.1.5.8.4 DBO DEL EFLUENTE

Esta se puede calcular, suponiendo que un 65% de los SS del efluente son biodegradables y que la relación entre la DBO_5 y la DBO última carbonácea es igual a 0,68. (4)

$$S_e = \text{DBO}_e - (0.63) S S \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde: S_e = DBO del efluente (mg/L)

DBO_e = DBO total deseada del efluente (mg/L)

SS = sólidos suspendidos del efluente (mg/L)

1.1.5.8.5 BIOMASA EN EL REACTOR

$$XV = \frac{\theta_c Y Q (S_0 - S_e)}{1 + k_d \theta_c} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde: θ_c = tiempo medio de retención celular

Y y K_d = coeficientes biocinéticos

S_0 = DBO del agua residual cruda

S_e = DBO del efluente

1.1.5.8.6 VOLUMEN DEL REACTOR

$$V = \frac{XV}{X} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde X = concentración de SSV en el tanque de aireación, SSVLM (mg/L)

1.1.5.8.7 TIEMPO MEDIO DE RETENCIÓN HIDRAÚLICA

Se refiere a la cantidad de tiempo que las bacterias están en contacto con el alimento de las aguas crudas. Es importante que se proporcione el tiempo suficiente para permitir que las bacterias asimilen la materia orgánica presente en el agua residual, considerando que si el tiempo de retención en el tanque de aeración es muy pequeño, no toda la materia orgánica será removida, y el efluente tendrá valores altos de DBO_5 (1).

$$\tau = \frac{V}{Q} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde V = volumen total

Q = caudal afluente

1.1.5.8.8 TIEMPO MEDIO DE RETENCIÓN CELULAR (EDAD DE LODOS)

Este es un parámetro importante debido a que influye en la calidad del efluente y en el control de la operación del sistema, y se define como el tiempo que los microorganismos son retenidos en el sistema (1).

Un factor necesario de considerar al seleccionar la edad de lodos, es que cuando se tiene una edad de lodos grande (mayor cantidad de SSVLM en el tanque de aireación), la planta soporta mayores cambios de carga, pues habrá mayor número de microorganismos en el aireador (12).

El tiempo medio de retención celular se calcula con la siguiente ecuación:

$$\Theta_c = \frac{V_r X}{Q_w X_r + Q_e X_e} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde V_r = volumen del reactor (m^3)

Q_w = tasa de purga de lodos desde el caudal de recirculación (m^3/d)

Q_e = caudal del efluente tratado (m^3/d)

X = concentración de SSV en el tanque de aireación, SSVLM (mg/L)

X_e = concentración de SSV en el efluente tratado (mg/L)

X_r = concentración de SSV en el lodo dispuesto (mg/L)

1.1.5.8.9 PRODUCCIÓN DE LODO

$$P_x = \frac{Y Q (S_0 - S_e)}{1 + k_d \theta_c} = \frac{XV}{\theta_c} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde: P_x = tasa de producción de lodos (g SSV/d)

θ_c = tiempo medio de retención celular

Y y K_d = coeficientes biocinéticos

S_0 = DBO del agua residual cruda

S_e = DBO del efluente

1.1.5.8.10 PRODUCCIÓN DE SÓLIDOS TOTALES DE DESECHO

$$\text{Lodos seco} = \frac{P_x}{\text{porción volátil de los sólidos totales}} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde: Lodo seco = (kg/d)

1.1.5.8.11 CAUDAL DE LOS LODOS DE DESECHO

$$Q_w = \frac{\text{lodos seco} * (10^3)}{\text{concentración se sólidos totales en el lodo sedimentado}} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde: Q_w = caudal de lodos de desecho (m^3 /d)

Tabla IV.- Cantidad de lodos de desecho

| | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|
| SSLM (mg/L) | 1600 | 2500 | 2600 | 4000 | 5000 | 8000 |
| V de sedimentación inicial (m/h) | 3.3 | 2.4 | 1.5 | 0.6 | 0.3 | 0.09 |

Fuente: Metcalf & Eddy, 1991

1.1.5.8.12 CAUDAL DE RECIRCULACIÓN

$$Q_R = \frac{QX}{X_R - X} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde: X= concentración de SSV en el tanque de aireación, SSVLM

X_r= concentración de SSV en el lodo dispuesto

1.1.5.8.13 RELACIÓN DE RECIRCULACIÓN

$$R \% = \frac{Q_R}{Q} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde: Q = caudal de agua residual cruda

Q_R = caudal de recirculación

1.1.5.8.14 INDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS IVL

Este valor representa el volumen ocupado por 1 gramo de Sólidos Suspendidos sedimentados.

$$IVL = \frac{V_{30}}{X_T} * 1000 \quad (\text{Ecuación 12})$$

Mm,

Donde: V₃₀ = Volumen Lodo sedimentado en 30 minutos en una probeta de 1 L (ml/L)

X_T = Concentración de SSTLM (mg/L)

1.1.5.8.15 CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA (COV)

$$\text{COV} = \frac{Q S_0}{V_r} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde V_r = volumen del reactor
 S_0 = DBO del agua residual cruda (mg/L)

1.1.5.8.16 RELACIÓN ALIMENTO MICROORGANISMO

Esta es una forma de expresar la carga de DBO por unidad de masa microbial en el sistema (g DBO por día por gramo de SSVLM, d^{-1}) (12).

$$\frac{A}{M} = \frac{Q \cdot S_0}{V X} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde: Q = caudal de agua residual cruda (m^3/d)
 S_0 = DBO del agua residual cruda (mg/L)
 V = volumen del líquido en el tanque de aireación (m^3)
 X = concentración de SSV en el tanque de aireación, SSVLM (mg/L)

1.1.5.8.17 DEMANDA DE OXÍGENO

La demanda de oxígeno para aguas residuales domésticas puede calcularse en base a la DBOUC removida, menos la DBOUC del lodo o biomasa extraída del sistema. (4)

$$DO = 1.5 Q (S_0 - S_e) - 1.42 X_r Q_w \quad (\text{Ecuación 15})$$

Donde: Q_w = caudal de lodos de desecho (m^3/d)
 S_0 = DBO del agua residual cruda (mg/L)
 X_r = concentración de SSV en el lodo dispuesto
 S_e = DBO del efluente

1.1.5.8.18 CAUDAL DE AIRE EN CONDICIONES NORMALES

$$Q_{\text{aire}} = \frac{DO}{(0.232)(1.20)} \quad (\text{Ecuación 16})$$

Donde: DO = demanda de oxígeno

1.1.5.8.19 CAUDAL DE AIRE REAL

$$Q_{\text{aire real}} = \frac{Q_{\text{aire}}}{0.08} \quad (\text{Ecuación 17})$$

Esto considerando una eficiencia de transferencia de oxígeno del equipo de aireación en condiciones reales del 8%.

1.1.5.8.20 VOLUMEN DE AIRE REQUERIDO POR UNIDAD DE DBO APLICADA AL TANQUE DE AIREACIÓN

$$\frac{Q_{\text{aire}}}{\text{DBO}} = \frac{Q_{\text{aire real}} (1000)}{S_0 Q} \quad (\text{Ecuación 18})$$

Donde: Q = caudal de agua residual cruda

S_0 = DBO del agua residual cruda (mg/L)

1.1.5.8.21 VOLUMEN DE AIRE REQUERIDO POR UNIDAD DE DBO REMOVIDA

$$\frac{Q_{\text{aire}}}{\text{DBO}} = \frac{Q_{\text{aire real}} (1000)}{(S_0 - S_e) Q} \quad (\text{Ecuación 19})$$

Donde: Q = caudal de agua residual cruda

S_0 = DBO del agua residual cruda (mg/L)

S_e = DBO esperada del efluente

1.1.5.8.22 EFICIENCIA EN REMOCIÓN DE DBO TOTAL

$$E = \frac{(S_0 - S_e)}{S_0} \quad (\text{Ecuación 20})$$

Donde: S_e = DBO esperada del efluente

S_0 = DBO del agua residual cruda

1.1.5.8.23 EFICIENCIA EN REMOCIÓN DE DBO SOLUBLE

$$E = \frac{(S_0 - S_e)}{S_0} \quad (\text{Ecuación 21})$$

Donde: S_e = DBO del efluente

S_0 = DBO del agua residual cruda (mg/L)

1.1.5.8.24 TASA ESPECÍFICA DE UTILIZACIÓN DEL SUSTRATO

$$U = \frac{(S_0 - S)}{\tau X} = \frac{Q(S_0 - S)}{VX} \quad (\text{Ecuación 22})$$

Donde: U = tasa específica de utilización del sustrato (d^{-1})

S_0 = concentración del sustrato en el efluente, mg/L

S = Concentración del sustrato en el efluente, (mg/L)

τ = Tiempo de retención hidráulica (d)

X = concentración de SSV en el tanque de aireación, SSVLM (mg/L)

V = volumen del reactor (m^3)

Q = caudal afluente (m^3/d)

1.1.5.8.25 DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES CINÉTICOS EN REACTORES DE MEZCLA COMPLETA

Los valores de K_s , k , Y , k_d se obtienen del laboratorio por medio de la operación de una planta piloto para el agua residual a tratar, en diferentes condiciones de tratamiento, que permiten obtener los parámetros requeridos para cuantificar los valores de las constantes biológicas (4).

A continuación se presenta valores típicos de los coeficientes cinéticos empleados en el proceso de lodos activos:

Tabla V.- Valores típicos de coeficientes cinéticos para el proceso de lodos activados

| Coeficientes | Unidades | Valores para 20°C | |
|--------------|-----------------|-------------------|---------|
| | | Rangos | Típicos |
| Y | mg SSV/mg DBO5 | 0.4-0.8 | 0.6 |
| Kd | d ⁻¹ | 0.025-0.075 | 0.06 |
| K | mg/L DBO5 | 25-100 | 60 |

Fuente: Metcalf & Eddy, 1991

1.1.5.8.26 DISEÑO DEL SEDIMENTADOR SECUNDARIO

Dentro del tratamiento de agua residual por lodos activos, la sedimentación secundaria busca que la Biomasa o Licor Mezcla proveniente del reactor o tanque de aireación sea separada de la fase líquida del agua, dando lugar a un sobrenadante clarificado y un lodo de fondo (24).

La sedimentación del licor mezclado corresponde a una sedimentación del Tipo III o Zonal como se muestra en la figura 10, es decir que corresponde a una solución de concentración intermedia, en la que las fuerzas entre partículas permiten una sedimentación colectiva de las partículas evitando su sedimentación individual; produciendo una interfase entre el clarificado y el los sólidos que sedimentan.

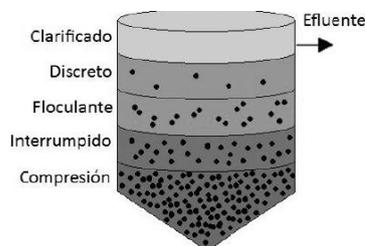


Figura 10.- Sedimentación secundaria (tomado de Nannig, J, 2008. Modelo Simple para Lodos Activados,)

1.1.5.8.26.1 TASA SUPERFICIAL

$$TS = \frac{Q}{A} \quad (\text{Ecuación 23})$$

Donde: TS = tasa superficial ($m^3/m^2 d$)

Q = caudal afluente al reactor (m^3/d)

A = área horizontal del sedimentador

Tabla VI.- Tasa superficial para sedimentación secundaria

| Modalidad Lodos Activados | Tasa Superficial [m ³ /m ² /día] | |
|---|--|---------|
| | Q medio | Q máx |
| Lodos Activados (excepto Aireación Extendida) | 16 – 33 | 41 – 49 |
| Aireación Extendida | 8 – 16 | 24 – 33 |

Fuente: Metcalf & Eddy, 1991

1.1.5.8.26.2 CARGA DE SÓLIDOS

$$CS = \frac{(Q+Q_R) * X_T}{A * 1000 * 24} \quad (\text{Ecuación 24})$$

Dónde: CS = Carga Superficial de sólidos, (KgSS/m²/h)

Q = Caudal afluente a la planta (Medio Total o Máximo Horario Total), (m^3/d)

Q_R = Caudal de recirculación, ($m^3/día$)

A = Área Horizontal del sedimentador (m^2)

X_T = Concentración de Sólidos suspendidos en el reactor (SSLM) (mg/L)

Tabla VII.- Carga de sólidos para sedimentación secundaria

| Modalidad Lodos Activados | Carga Sólidos [Kg/m²/h] | |
|--|---|--------------|
| | Q medio | Q máx |
| Lodos Activados (excepto Aireación Extendida) | 3,9 - 5,9 | 9,8 |
| Aireación Extendida | 1,0 – 4,9 | 6,8 |

Fuente: Metcalf & Eddy, 1991

1.1.5.8.26.3 PROFUNDIDAD DEL SEDIMENTADOR

Para el caso de la profundidad existen valores recomendados en varias bibliografías como es el caso de Metcalf&Eddy (2001) se recomiendan valores entre 3,6 y 6,0 metros.

Por otro lado, en el Manual of Practice (2005) desarrollado por la WATER ENVIRONMENT FEDERATION se recomiendan valores que dependen del diámetro del sedimentador, los cuales se muestran a continuación:

Tabla VIII.- Profundidad del sedimentador

| Diámetro (m) | Profundidad desde la superficie del agua [m] | |
|---------------------|---|-----------------|
| | Mínima | Sugerida |
| < 12 | 3 | 3,7 |
| 12 – 21 | 3,3 | 3,7 |
| 21 -30 | 3,7 | 4 |
| 30 – 43 | 4 | 4,3 |
| >43 | 4,3 | 4,6 |

Fuente: WATER ENVIRONMENT FEDERATION, [2005], Manual of Practice FD-8:

Clarifier Design.

1.1.5.8.26.4 VOLUMEN DEL SEDIMENTADOR

$$V = A * H \quad (\text{Ecuación 25})$$

Donde: A = área del sedimentador
H = profundidad del sedimentador

1.1.5.8.26.5 ÁREA DEL SEDIMENTADOR

$$A = L * B \quad (\text{Ecuación 26})$$

Donde: L = longitud del sedimentador
B = ancho del sedimentador

1.1.5.8.27 POTENCIA DEL COMPRESOR

La potencia necesaria del compresor para alimentar de aire el reactor de lodos activos se determina en base a parámetros tales como: las dimensiones del tanque el caudal, la DBO, DQO y materia orgánica suspendida. (10)

Por lo tanto, basándonos en la cantidad de DBO que ingresa al sistema de tratamiento y el caudal suministrado al reactor se tiene lo siguiente:

$$DBO_{\text{afuente}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) * \frac{1\text{kg}}{1000000 \text{ mg}} * \frac{1000 \text{ L}}{1\text{m}^3} * Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) \quad (\text{Ecuación 27})$$

Con lo cual sabremos la cantidad de DBO máxima presente en el agua residual expresada en kg DBO/d, entonces se calcula la cantidad de aire requerida, teniendo en cuenta la cantidad de aire necesario para la reducción de 1 Kg de DBO calculada en la ecuación 20. (10)

$$\left(\frac{\text{kg DBO}}{\text{d}} \right) * \text{cantidad de aire necesario para la reducción de 1kg de DBO} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)$$

(Ecuación 28)

Como se sabe, para que el aire pueda salir por a través de los poros de los difusores es necesario que la presión del aire comprimido sea superior a la presión absoluta que se ejerce sobre los difusores, la cual es resultado de la presión hidrostática del agua y la presión atmosférica. (10)

Por tanto, la presión hidrostática del agua es:

$$P_{H2O} = \rho gh \quad (\text{Ecuación 29})$$

Donde: ρ = densidad del agua (kg/m^3)
 g = gravedad (m/s^2)
 h = altura del agua (m)

Para lo cual se considera una densidad del agua residual de 1200 kg/m^3 y la presión deberá estar expresada en psi.

Por tanto, la presión absoluta es:

$$P_{\text{absoluta}} = P_{\text{atm}} + P_{H2O} \quad (\text{Ecuación 30})$$

A partir de lo cual la potencia del compresor es la siguiente:

$$P = \frac{0.22 Q}{\eta} \left\{ \left[\frac{P_{\text{abs}}}{14.7} \right]^{0.283} - 1 \right\} \quad (\text{Ecuación 31})$$

En donde $\eta = 0.8$

1.1.5.8.28 CAUDAL DEL AIRE

$$Q = A * v \quad (\text{Ecuación 32})$$

Donde: V = velocidad (m/s)

A = área de la sección de salida del aire (m²)

1.1.5.8.29 VELOCIDAD DE SALIDA DEL AIRE EN EL COMPRESOR

$$v = \sqrt{\frac{2 * \gamma * R * T}{M (\gamma - 1)} * \left(\frac{1 - (P_e / P_o)^{\gamma}}{\gamma} \right)} \quad \text{(Ecuación 33)}$$

Donde: T=temperatura del aire en cilindro
R=constante de los gases (8314 J/kmol°K)
P_e=Presión a la salida (atmosférica)
P_o=Presión del aire en cilindro
M=masa molecular del gas (kg/kmol)
 γ = razón de calores específicos del gas (vale 1,4 para el aire)

1.1.5.8.30 CÁLCULO DE K_{la}

El valor de K_{la} corresponde al coeficiente de transferencia de oxígeno, el procedimiento más usado para su determinación es la aireación en régimen transitorio de agua potable.

Los pasos a seguir para su determinación son los siguientes:

1. Desoxigenación del agua hasta lograr un valor cercano a cero de OD, lo cual se consigue mediante la adición de cloruro de cobalto y sulfito sódico.
2. Cuando se ha logrado bajar el nivel de OD se inicia la aireación y se va midiendo la concentración de oxígeno en intervalos de tiempo determinados
3. A continuación se registran los valores obtenidos
4. Con la ecuación siguiente se procede a su cálculo (3)

$$K_{la} = \frac{2.3}{t} * \log \frac{(C_s - C_o)}{(C_s - C)} \quad \text{(Ecuación 34)}$$

En donde el cálculo de C_s se lo realiza de la forma siguiente:

$$C_s = C_{s1 \text{ atm}} * \frac{P}{760} \quad (\text{Ecuación 35})$$

El valor de $C_{s1 \text{ atm}}$ se obtiene de la tabla IX

Tabla IX.- Capacidad de Oxígeno Disuelto

| | 770 mm | 760 mm | 750 mm | 740 mm | 730 mm | 720 mm | 710 mm | 700 mm | 690 mm | 680 mm | 670 mm | 660 mm |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0°C | 14.76 | 14.57 | 14.38 | 14.19 | 13.99 | 13.80 | 13.61 | 13.42 | 13.23 | 13.04 | 12.84 | 12.65 |
| 1°C | 14.38 | 14.19 | 14.00 | 13.82 | 13.63 | 13.44 | 13.26 | 13.07 | 12.88 | 12.70 | 12.51 | 12.32 |
| 2°C | 14.01 | 13.82 | 13.64 | 13.46 | 13.28 | 13.10 | 12.92 | 12.73 | 12.55 | 12.37 | 12.19 | 12.01 |
| 3°C | 13.65 | 13.47 | 13.29 | 13.12 | 12.94 | 12.76 | 12.59 | 12.41 | 12.23 | 12.05 | 11.88 | 11.70 |
| 4°C | 13.31 | 13.13 | 12.96 | 12.79 | 12.61 | 12.44 | 12.27 | 12.10 | 11.92 | 11.75 | 11.58 | 11.40 |
| 5°C | 12.97 | 12.81 | 12.64 | 12.47 | 12.30 | 12.13 | 11.96 | 11.80 | 11.63 | 11.46 | 11.29 | 11.12 |
| 6°C | 12.66 | 12.49 | 12.33 | 12.16 | 12.00 | 11.83 | 11.67 | 11.51 | 11.34 | 11.18 | 11.01 | 10.85 |
| 7°C | 12.35 | 12.19 | 12.03 | 11.87 | 11.71 | 11.55 | 11.39 | 11.23 | 11.07 | 10.91 | 10.75 | 10.59 |
| 8°C | 12.05 | 11.90 | 11.74 | 11.58 | 11.43 | 11.27 | 11.11 | 10.96 | 10.80 | 10.65 | 10.49 | 10.33 |
| 9°C | 11.77 | 11.62 | 11.46 | 11.31 | 11.16 | 11.01 | 10.85 | 10.70 | 10.55 | 10.39 | 10.24 | 10.09 |
| 10°C | 11.50 | 11.35 | 11.20 | 11.05 | 10.90 | 10.75 | 10.60 | 10.45 | 10.30 | 10.15 | 10.00 | 9.86 |
| 11°C | 11.24 | 11.09 | 10.94 | 10.80 | 10.65 | 10.51 | 10.36 | 10.21 | 10.07 | 9.92 | 9.78 | 9.63 |
| 12°C | 10.98 | 10.84 | 10.70 | 10.56 | 10.41 | 10.27 | 10.13 | 9.99 | 9.84 | 9.70 | 9.56 | 9.41 |
| 13°C | 10.74 | 10.60 | 10.46 | 10.32 | 10.18 | 10.04 | 9.90 | 9.77 | 9.63 | 9.49 | 9.35 | 9.21 |
| 14°C | 10.51 | 10.37 | 10.24 | 10.10 | 9.96 | 9.83 | 9.69 | 9.55 | 9.42 | 9.28 | 9.14 | 9.01 |
| 15°C | 10.29 | 10.15 | 10.02 | 9.88 | 9.75 | 9.62 | 9.48 | 9.35 | 9.22 | 9.08 | 8.95 | 8.82 |
| 16°C | 10.07 | 9.94 | 9.81 | 9.68 | 9.55 | 9.42 | 9.29 | 9.15 | 9.02 | 8.89 | 8.76 | 8.63 |
| 17°C | 9.86 | 9.74 | 9.61 | 9.48 | 9.35 | 9.22 | 9.10 | 8.97 | 8.84 | 8.71 | 8.58 | 8.45 |
| 18°C | 9.67 | 9.54 | 9.41 | 9.29 | 9.16 | 9.04 | 8.91 | 8.79 | 8.66 | 8.54 | 8.41 | 8.28 |
| 19°C | 9.47 | 9.35 | 9.23 | 9.11 | 8.98 | 8.86 | 8.74 | 8.61 | 8.49 | 8.37 | 8.24 | 8.12 |
| 20°C | 9.29 | 9.17 | 9.05 | 8.93 | 8.81 | 8.69 | 8.57 | 8.45 | 8.33 | 8.20 | 8.08 | 7.96 |
| 21°C | 9.11 | 9.00 | 8.88 | 8.76 | 8.64 | 8.52 | 8.40 | 8.28 | 8.17 | 8.05 | 7.93 | 7.81 |
| 22°C | 8.94 | 8.83 | 8.71 | 8.59 | 8.48 | 8.36 | 8.25 | 8.13 | 8.01 | 7.90 | 7.78 | 7.67 |
| 23°C | 8.78 | 8.66 | 8.55 | 8.44 | 8.32 | 8.21 | 8.09 | 7.98 | 7.87 | 7.75 | 7.64 | 7.52 |
| 24°C | 8.62 | 8.51 | 8.40 | 8.28 | 8.17 | 8.06 | 7.95 | 7.84 | 7.72 | 7.61 | 7.50 | 7.39 |
| 25°C | 8.47 | 8.36 | 8.25 | 8.14 | 8.03 | 7.92 | 7.81 | 7.70 | 7.59 | 7.48 | 7.37 | 7.26 |
| 26°C | 8.32 | 8.21 | 8.10 | 7.99 | 7.89 | 7.78 | 7.67 | 7.56 | 7.45 | 7.35 | 7.24 | 7.13 |
| 27°C | 8.17 | 8.07 | 7.96 | 7.86 | 7.75 | 7.64 | 7.54 | 7.43 | 7.33 | 7.22 | 7.11 | 7.01 |
| 28°C | 8.04 | 7.93 | 7.83 | 7.72 | 7.62 | 7.51 | 7.41 | 7.30 | 7.20 | 7.10 | 6.99 | 6.89 |
| 29°C | 7.90 | 7.80 | 7.69 | 7.59 | 7.49 | 7.39 | 7.28 | 7.18 | 7.08 | 6.98 | 6.87 | 6.77 |
| 30°C | 7.77 | 7.67 | 7.57 | 7.47 | 7.36 | 7.26 | 7.16 | 7.06 | 6.96 | 6.86 | 6.76 | 6.66 |
| 31°C | 7.64 | 7.54 | 7.44 | 7.34 | 7.24 | 7.14 | 7.04 | 6.94 | 6.85 | 6.75 | 6.65 | 6.55 |

Fuente: www.vernier.com.

Finalmente se debe realizar la corrección de K_{la} A 20°C

$$K_{la20^\circ\text{C}} = \frac{K_{la}}{\theta^{15-20}} \quad (\text{Ecuación 36})$$

En donde:

$\theta = 1,020$ para sistemas de burbuja

$\theta = 1,024$ para sistemas de aireación mecánica

Para el caso del agua residual el valor de K_{la} se lo determina con las mismas ecuaciones empleadas para el agua potable, con la diferencia que el agua no debe ser desoxigenada y C_s se sustituye por C_{sr} . (3)

1.1.5.8.31 CÁLCULO DE α

Este parámetro corresponde a la relación de la tasa de transferencia de oxígeno en agua residual a agua potable

$$\alpha = \frac{K_{la} \text{ del agua residual}}{K_{la} \text{ del agua potable}} \quad (\text{Ecuación 37})$$

1.1.5.8.32 CÁLCULO DE β

β se refiere a la relación de concentración de saturación de OD en el agua residual a la del agua potable o destilada.

$$\beta = \frac{C_{sr}(\text{agua residual})}{C_s(\text{agua potable})} \quad (\text{Ecuación 38})$$

1.1.5.9 Tratamiento y Disposición De Lodos

Se generan varios problemas durante el tratamiento de las aguas residuales, con excepción de los lodos, a los cuales se los puede aplicar en el suelo como abonos, en lagunas de pulimiento, como generadores de energía, entre otros.

Mientras mayor sea el volumen de agua a tratar, la generación de lodos también será mayor y se debe contar con sistemas de tratamiento de los mismos para poder manejarlos adecuadamente. (5)

Los lodos están formados por las sustancias que conforman las aguas residuales crudas que son sedimentables, así como los sólidos que se generan durante el proceso de aireación. (5).

Durante el tratamiento primario la generación de lodos pueden ser del 0.25% al 0.35% del volumen total del agua a ser tratada; en el tratamiento por lodos activados la

generación es de 1.5% a 2.0% y el 1.0% más si se emplean químicos para reducir las concentraciones de fósforo. (5)

Los procesos básicos para el tratamiento del lodo son los siguientes:

1.1.5.9.1 Espesamiento.

Es la separación de la mayor cantidad posible de agua ya sea por gravedad o flotación. (5)

1.1.5.9.2 Estabilización.

Se denomina estabilización a la transformación de la materia orgánica (oxidación bioquímica mediante el proceso de digestión) a formas más refractarias (inertes) con el fin de que se las pueda manejar o posteriormente ser usados como abonos para el suelo y así evitar daños a la salud. (5)

1.1.5.9.3 Acondicionamiento.

Para que el lodo se pueda separar rápidamente del lodo se emplean sustancias químicas o calor. (5)

1.1.5.9.4 Deshidratado.

Se sujeta el lodo a vacío, presión o secado para separar el agua (5).

1.1.5.9.5 Reducción.

Se emplea la combustión para reducir el volumen del lodo, convirtiendo los sólidos a formas más estables. (5)

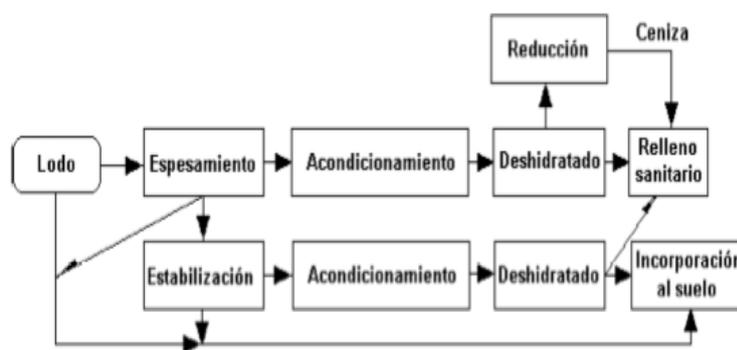


Figura 11.- Alternativas básicas para el tratamiento y disposición de lodos (tomado de VALDEZ, Enrique César y VASQUEZ, Alba. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales)

1.1.5.10 Tipos de lodos y sus características

1.1.5.10.1 Arena

A más de la arena, en las aguas residuales se encuentran restos de vidrios, tornillos y más materiales que son retenidos en los desarenadores y los cuales no son lodos. Estos materiales se los separada con facilidad no son biodegradables y son dispuestos como residuos sólidos municipales. (5)

1.1.5.10.2 Lodos primarios o crudos

Corresponde a los lodos que se depositan en el fondo del sedimentador primario, el cual está formado por sólidos con un porcentaje del 3 al 8, de éstos, el 70% son de naturaleza orgánica. Este lodo rápidamente presenta condiciones anaerobias y genera malos olores. (5)

1.1.5.10.3 Lodos secundarios

Corresponde a los lodos que provienen del tratamiento secundario, los cuales son de desecho y presentan concentraciones elevadas de microorganismos y materia inerte. El 90% de los sólidos son de origen orgánico. Cuando durante el tratamiento se suspende el suministro de aire, el sistema adopta condiciones anaerobias y por ende se generan malos olores. Durante el tratamiento biológico (lodos activados) el contenido de sólidos es de 0.5 a 2.0 por ciento, mientras que en los filtros percoladores el contenido es del 2 al 5 por ciento. (5)

1.1.5.10.4 Lodos terciarios

Se generan durante el tratamiento terciario y dependen de la naturaleza de las aguas a ser depuradas. Por ejemplo, al remover de las aguas residuales el fósforo, se producen lodos químicos los cuales son difíciles de tratar. Cuando se emplea el tratamiento por lodos activos para la remoción de fósforo se combinan lodos químicos y biológicos, volviendo al tratamiento difícil. (5)

1.1.5.11 Disposición de lodos

La generación de lodos producto del tratamiento de las aguas residuales es un gran problema para el personal a cargo de la operación de la misma, es por esta razón que de manera fácil y práctica los disponen en el suelo. (5)

1.1.5.11.1 Dispersión en el terreno

Se conoce como dispersión en el terreno a la aplicación de los residuos (lodos) de las plantas de tratamiento en los suelos con el fin de recuperar nutrientes, agua o regenerarlos. Este proceso se emplea para aprovechar los fosfatos y nitratos que contienen los lodos, los biosólidos (lodos) que presenten bajas concentraciones de metales pesados o compuestos tóxicos se los puede emplear para la fertilización de suelos de cultivo o arboles mejorando las condiciones del mismo. (5)

1.1.5.11.2 Disposición en relleno sanitario

A los sólidos que son generados durante el tratamiento de las aguas residuales se los debe trasladar a un relleno sanitario, en el cual se realiza el entierro de éstos residuos (lodo procesado, arena y cenizas), colocándolos en una trinchera excavada o celda diaria cubierta con una capa de suelo. (5)

1.1.5.11.3 Disposición en suelo destinado

Consiste en la aplicación de los lodos generados en las plantas de tratamiento en lugares exclusivos para este fin, los cuales son de acceso restringido para la población y se colocan cargas elevadas de lodos. En los lugares de disposición de lodos no puede cultivarse nada ya que es utilizado solamente como sitio de almacenamiento de los mismos. (5)

1.1.5.12 Utilización

Los sólidos generados durante el tratamiento de las aguas residuales no solamente se los puede emplear como abono para los suelo. En algunos casos los lodos se unen con otros componentes como viruta o desechos municipales y producto de su descomposición se obtiene compost. De igual manera se ha realizado la recuperación de cal a partir de los lodos así como también la producción de carbón activado. (5)

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

CAPÍTULO II

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 LUGAR DE INVESTIGACIÓN

La ejecución del presente proyecto de investigación tuvo lugar en el laboratorio de Análisis Instrumental de la Facultad de Ciencias, en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Mientras que la caracterización de las muestras de agua residual durante el proceso de tratamiento se lo realizó en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias.

2.2 LUGAR DE MUESTREO

El lugar seleccionado para la toma de las muestras de agua residual con las cuales se llevó a cabo los diferentes ensayos requeridos en este proyecto fue la “Quesera Llin Llin Pucará”, localizada en el cantón Colta, parroquia de Columbe en la Comunidad de Llin Llin Pucará, la cual viene funcionando desde el año 2010 con el financiamiento de la Cruz Roja Española y la Fundación La Caixa, su producción es de aproximadamente 200 quesos diarios en presentaciones de 500 y 900 g.

2.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL PREVIO AL DISEÑO DE LA PLANTA.

El agua residual proveniente de la Quesera “Llin Llin Pucara” fue caracterizada física, química y microbiológicamente a fin de conocer la concentración de contaminantes que esta posee, para lo cual se procedió de la siguiente manera:

2.3.1 OBTENCIÓN DE LA MUESTRA DE AGUA RESIDUAL PARA LOS ANÁLISIS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

Para la recolección de la muestra de agua residual se empleó el método de muestreo puntual, ya que se procedió a tomar del punto de descarga de la quesera 2 litros del agua residual en un recipiente previamente purgado, esta muestra fue empleada para los respectivos análisis físicos y químicos. Mientras que para el análisis microbiológico la

muestra fue recogida en un frasco estéril, evitando así alguna alteración en los resultados.

Dichas muestras fueron llevadas inmediatamente al laboratorio de Análisis instrumental de la ESPOCH, en donde se llevó a cabo cada uno de los análisis.

2.3.2 TÉCNICAS Y METODOLOGÍAS DE ENSAYO

A continuación se detallan los parámetros que fueron determinados en el agua residual, así como cada una de las técnicas empleadas para su realización:

2.3.2.1 PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS

Tabla X.- Parámetros físicos y químicos a determinar en el agua residual

| Parámetro | Unidades | Norma | Método |
|-------------------------------|----------|--------|-----------------------------|
| Demanda Química de Oxígeno | mg/L | 5220-C | Digestión de Reactor (Hach) |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | mg/L | 5210-B | Cabeza Gasométrica |
| Sólidos Suspendidos | mg/L | 2540-B | Gravimétrico |
| Sólidos Sedimentables | mL/L | 2540-C | Volumétrico |
| Sólidos Volátiles | mg/L | 2540-B | Gravimétrico |
| Sólidos Totales | mg/L | 2540-A | Gravimétrico |
| pH- Temperatura | Und - °C | ----- | Potenciométrico |
| Oxígeno disuelto | mg/L | ----- | Potenciométrico |

Fuente: Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21° Edición y métodos HACH adaptados de STANDARD METHODS 21° Edición

Cabe recalcar que el pH, temperatura y oxígeno disuelto fueron parámetros determinados in-situ.

2.3.2.2 PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Tabla XI.- Parámetros microbiológicos a determinar en el agua residual

| Parámetro | Unidades | Método |
|--------------------|----------|--------------------------|
| Mohos y levaduras | UPC/ mL | Siembra en extensión |
| Coliformes totales | UFC/ mL | Siembra vertido en placa |
| Escherichia coli. | UFC/ mL | Siembra vertido en placa |

Fuente: Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21° Edición y métodos HACH adaptados de STANDARD METHODS 21° Edición.

2.4 DISEÑO DE LA PLANTA A ESCALA DE LABORATORIO

El diseño de la planta de tratamiento de agua residual por lodos activos a escala de laboratorio se basó en la caracterización previa del agua, a partir de lo cual empleando las ecuaciones y valores típicos de diseño citados en el punto 1.1.5.7 del marco teórico se realizaron los cálculos correspondientes a DBO del efluente, biomasa en el reactor, volumen del reactor, tiempo medio de retención hidráulica, tiempo medio de retención celular, producción de lodo, producción de sólidos totales de desecho, caudal de lodos de desecho, caudal de recirculación, relación de recirculación, carga orgánica volumétrica, relación alimento microorganismo, demanda de oxígeno, caudal de aire en condiciones normales, caudal de aire real, volumen de aire requerido por unidad de DBO, volumen de aire requerido por unidad de DBO removida, eficiencia en remoción de DBO total, eficiencia en remoción de DBO soluble, tasa específica de utilización de sustrato, y dimensiones del sedimentador secundario; todo esto con el fin de determinar los diversos parámetros de diseño con los cuales será construida la planta. Además para el diseño se consideró un caudal de 200 L/h.

2.5 CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA A ESCALA DE LABORATORIO.

A partir de los valores obtenidos en el diseño se decidió considerar el 12% de las dimensiones totales calculadas para la construcción del equipo; dicha decisión se la

tomó por fines didácticos, económicos y de espacio. Antes de la construcción se elaboró un plano en el cual constan los tanques con los que contará la planta con sus respectivas dimensiones, como se muestra a continuación:

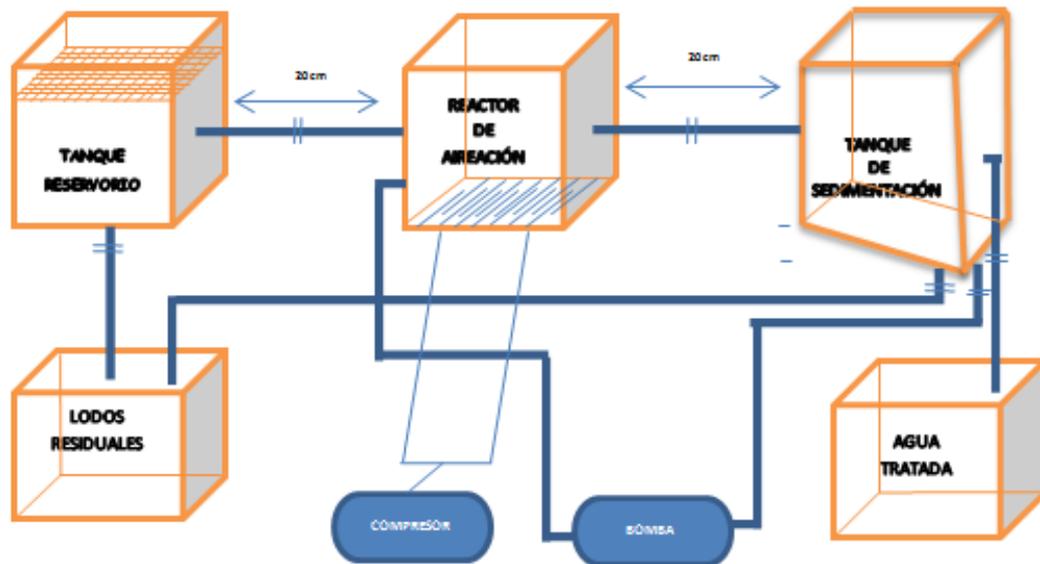


Figura 12.- Esquema para la construcción de la planta (Autores)

De modo que a partir del plano elaborado se determinaron los materiales y equipos que se emplearon, los mismos que se mencionan a continuación:

- ✓ Planchas de policarbonato (8 mm de espesor)
- ✓ Ángulos de aluminio
- ✓ tubos de pega Sikaflex 1A
- ✓ Plancha de madera antihumedad
- ✓ Varillas metálicas para la construcción de la mesa
- ✓ Tubos de ½ pulgada
- ✓ Tubos de 1 pulgada
- ✓ Válvulas esféricas.
- ✓ Cabezas de poder
- ✓ Codos
- ✓ Universales
- ✓ Acoples para manguera de ¼ “
- ✓ Acoples para tubería de ½ “

- ✓ Teflón
- ✓ Permatex
- ✓ Mangueras de presión (4 m)
- ✓ piedras difusoras de 50 cm
- ✓ Filtros de aire
- ✓ compresor Steele de 1/3 HP
- ✓ Bomba de agua de ¼ HP
- ✓ Abrazaderas para manguera
- ✓ Abrazaderas de Platino
- ✓ Malla
- ✓ Tes
- ✓ Reducciones
- ✓ Neplos
- ✓ Aislante térmico

Con todos los materiales y equipos mencionados se procedió a la construcción de la planta, dentro de la fase de construcción se contó con la ayuda de una persona con conocimientos en mecánica.

Cabe mencionar que para la ubicación de los tanques se construyó una mesa de dos pisos con madera resistente a la humedad, en la cual los tanques fueron distribuidos como se detalla en la figura 12.

Los tanques colocados en la parte superior se encuentran uno al lado del otro separados por una distancia de 20 cm y unidos mediante tuberías de ½' pulgada, en la tubería que une un tanque con otro se encuentran colocadas llaves para controlar los caudales, de igual manera dentro del tanque reservorio y de aireación se colocaron cabezas de poder o bombas sumergibles de 400 L/h para asegurar el paso del agua de un tanque a otro.

Como se menciona anteriormente todo el sistema está conectado mediante tubería de PVC de ½ pulgada, a excepción de la tubería utilizada para la bomba empleada para la recirculación, la cual es de 1 pulgada, a la cual se tuvo que instalar adaptaciones para reducirla hasta ½ pulgada como todo el sistema.

Una vez finalizada la construcción la planta a escala de laboratorio fue trasladada al Laboratorio de Análisis Instrumental de la Facultad de Ciencias – ESPOCH.

2.6 PRUEBAS DE CONTROL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA

Antes de iniciar con el tratamiento se realizaron pruebas con agua potable con el fin de verificar el correcto funcionamiento de cada uno de los equipos instalados, es así que al colocar el agua dentro de los tanques se pudo observar una expansión de los mismos y seguido a esto una filtración del agua producto de la presión ejercida por esta, de modo que se tomaron las medidas respectivas para solucionar dichos inconvenientes.

2.7 DESARROLLO EXPERIMENTAL DEL TRATAMIENTO POR LODOS ACTIVOS

2.7.1 OBTENCIÓN DEL AGUA RESIDUAL PARA LA VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA.

El agua residual empleada para los ensayos fue tomada del punto de descarga de la quesera, el volumen recolectado en canecas fue de 100 litros ya que se ha decidido trabajar con este volumen a lo largo del tratamiento con el fin de mantener una altura de seguridad en los diferentes tanques.

Se debe recalcar que se requiere 100 L de agua residual para cada uno de los tiempos de retención hidráulica que se han considerado dentro del tratamiento, puesto que el tanque de almacenamiento debe permanecer lleno y de éste a un caudal determinado pasa el agua hacia el reactor de aireación hasta completar el volumen requerido para el proceso.

Posteriormente las canecas con el agua fueron trasladadas hacia el laboratorio de Análisis Instrumental de la ESPOCH para iniciar con los diferentes ensayos.

2.7.2 PUESTA EN MARCHA DEL EQUIPO

El tiempo considerado para el tratamiento fue de 11 días, de modo que para dar inició al mismo se procedió a agregar en el tanque de almacenamiento un volumen determinado

de agua residual, la misma que a continuación fue trasladada hacia el tanque de aireación con un caudal establecido el que fue controlado mediante la llave colocada en la tubería.

Una vez que el agua comienza a pasar hacia el tanque de aireación el compresor es encendido de modo que comienza la aireación, el agua residual se mantiene aireando durante diferentes tiempos de retención hidráulica (72 – 60 – 48 – 36 – 24 – 12 – 8 – 4 horas) respectivamente.

Luego de que el agua ha sido aireada durante su respectivo tiempo de retención hidráulica pasa al reactor de sedimentación, en el cual se deja que los sólidos sedimenten durante 1 hora, tiempo en el cual se puede observar su precipitación. Una vez que han sedimentado todos los sólidos el agua que se encuentra en la parte superior del tanque corresponde al agua tratada.

Posterior a la sedimentación o clarificación se procede a la recirculación de los lodos, para lo cual se emplea una bomba de agua de ¼ HP, la misma que debe ser abierta a un cierto porcentaje según las necesidades que se tenga, dichos porcentajes se encuentran marcados en la llave de paso colocada en la tubería que se dirige hacia la bomba.

Finalmente, el agua tratada es conducida hacia el tanque destinado para el almacenamiento de la misma, mientras que los lodos que quedan en el tanque de sedimentación son purgados hacia el tanque de almacenamiento de lodos en exceso.

2.7.3 CONTROL DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

2.7.3.1 MEDICIÓN DE CAUDALES

Para el caso de los caudales del paso del agua de un tanque a otro se empleó el método volumétrico, para lo cual usamos un vaso de precipitación de 2000 ml de capacidad y se registró el tiempo que tarda en llenarse dicho recipiente. Dichos caudales fueron medidos con las llaves de paso abiertas al 50%, para obtener un valor más exacto se hicieron 6 repeticiones.

Mientras que para medir el caudal de recirculación a los diferentes porcentajes (100%, 75%, 50% y 25%), se registró el tiempo que tardaba en subir el agua hasta una determinada altura en el tanque de aireación, para esto se realizaron 3 repeticiones con las cuales se obtendrá un promedio.

2.7.3.2 MUESTREO PARA EL CONTROL DE VARIABLES DURANTE EL TRATAMIENTO

Con la finalidad de mantener un control del desarrollo del tratamiento del agua residual se procedió a tomar muestras del tanque de aireación así como del efluente, dichas muestras fueron colectadas en recipientes previamente purgados y en recipientes estériles, las mismas que fueron empleadas para efectuar los análisis mencionados en la tabla XII.

Para lo cual se siguió el siguiente programa de muestreo.

Tabla XII.- Programa De Muestreo

| PARÁMETRO | FRECUENCIA | AFLUENTE | REACTOR | EFLUENTE |
|------------------|---|-----------------|----------------|-----------------|
| DBO | Inicio /fin del tratamiento | x | | x |
| DQO | Final de cada tiempo de retención | | | x |
| pH | c/12 horas y al final de cada tiempo de retención | | x | |
| Temperatura | c/12 horas y al final de cada tiempo de retención | | x | |
| SSV | c/24 horas y al final de cada tiempo de | | x | |

| | | | | |
|-----------------------|---|--|---|--|
| | retención | | | |
| SST | c/24 horas y al final de cada tiempo de retención | | x | |
| Sólidos sedimentables | c/24 horas y al final de cada tiempo de retención | | x | |
| Oxígeno disuelto | c/12 horas y al final de cada tiempo de retención | | x | |

Fuente: Autores

2.7.3.3 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE MASA VOLUMÉTRICA APARENTE (K_{la})

Para realizar los cálculos correspondientes que nos permitan conocer el valor de K_{LA} se procedió a efectuar pruebas con agua potable así como con el agua residual a tratarse en la planta piloto.

El proceso fue el siguiente:

Prueba con Agua Potable: Se inició llenando el reactor de aireación con agua hasta almacenar 50 litros y se midió la concentración de oxígeno disuelto inicial, a partir de este valor se procedió a realizar los cálculos correspondientes para la adición de sulfito de sodio y cloruro de cobalto, reactivos que ayudan a la eliminación del oxígeno del agua.

Una vez reducido el oxígeno al máximo se procedió nuevamente a airear el agua durante una hora, lapso en el cual se realizaron mediciones de oxígeno disuelto cada 10 minutos, cuyos valores fueron registrados.

Prueba con Agua Residual: Con el agua residual se procedió de la misma forma, pero en ésta no se colocó ningún producto químico, ya que el agua residual presentaba valores bajos de oxígeno disuelto; de igual manera se colocó 50 litros de agua residual en el reactor, a la cual se la aireó durante una hora y las mediciones de oxígeno disuelto se las realizó en intervalos de 10 minutos.

Finalmente con todos los datos obtenidos durante el tiempo de aireación (1 hora) con el agua residual y potable se calcula el Coeficiente de Transferencia de Masa Aparente (Kla)

2.7.3.4 DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES CINÉTICOS EN REACTORES DE MEZCLA COMPLETA

El procedimiento recomendado por Metcalf y Eddy involucra la operación de la planta piloto en diferentes tiempos de retención, por lo menos para cinco valores diferentes, dentro de un intervalo de uno a diez días (1).

Los valores a registrar serán los siguientes:

Tabla XIII.- Determinación de los coeficientes cinéticos

| Experiencia | DQO afluente (So mg/l) | DQO efluente (S mg/l) | θ (d) | θ_c (d) | x (mg SSV/l) |
|-------------|---------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |

Fuente: Metcalf y Eddy

A partir de los cuales se realizarán los cálculos correspondientes, a fin de obtener los siguientes valores:

Tabla XIV.- Determinación de los coeficientes cinéticos

| | | | |
|------------------------------------|---|------------------------------|-------------------------------|
| $1/\theta_c$ (d ⁻¹) | $(S_o - S)/X\theta$ (d ⁻¹) | $X\theta / (S_o - S)$ (d) | $1/S$ (mg/l) ⁻¹ |
|------------------------------------|---|------------------------------|-------------------------------|

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
| | | | |

Fuente: Metcalf y Eddy

De modo que realizando un gráfico de $\frac{x\theta}{S_0-S}$ contra $\frac{1}{S}$, se obtiene una recta. La pendiente de dicha recta permite obtener el valor de $\frac{K_s}{k}$ y la ordenada en el origen, el valor de $\frac{1}{k}$.

(3). De igual forma, haciendo un gráfico de $\frac{1}{\theta_c}$ contra $\frac{S_0-S}{x\theta}$ se obtiene una recta. La pendiente de dicha recta permitirá obtener el valor de Y y la ordenada en el origen el valor de k_d . (3)

2.8 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL POSTERIOR AL TRATAMIENTO POR LODOS ACTIVOS

Una vez que el tratamiento del agua residual ha concluido se procedió a tomar una muestra del tanque de almacenamiento de agua tratada, los parámetros analizados fueron los mismos de la caracterización inicial con el fin de conocer el porcentaje de descontaminación de la misma. La metodología empleada es la mencionada en las tablas X y XI.

2.9 CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS RESULTANTES DEL TRATAMIENTO POR LODOS ACTIVOS DEL AGUA RESIDUAL

Para la caracterización de los lodos residuales resultantes se tomó una muestra del tanque de almacenamiento de los mismos, de dicha muestra se analizaron los parámetros citados a continuación, empleando la metodología indicada:

Tabla XV.- Parámetros caracterizados en los lodos

| Parámetro | Unidades | Método |
|------------------|-----------------|------------------|
| Sólidos totales | mg/L | Gravimétrico |
| N | % | Olsen modificado |

| | | |
|---|---|------------------|
| P | % | Olsen modificado |
| K | % | Olsen modificado |

Fuente: Métodos RELASE Ecuador

CAPÍTULO III

CÁLCULOS DE DISEÑO

CAPÍTULO III

3. CÁLCULOS DE DISEÑO

3.1 CÁLCULOS PRELIMINARES PARA EL DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Para el diseño de la planta de tratamiento por lodos activos a escala de laboratorio se emplearon los siguientes datos:

Tabla XVI.- Datos para determinación de parámetros de diseño

| PARÁMETRO | VALOR | UNIDADES |
|-------------------------|-------|----------|
| DBO afluente | 28300 | mg/L |
| SSV entrada | 13360 | mg/L |
| Sólidos totales entrada | 20300 | mg/L |
| SST entrada | 18558 | mg/L |

Fuente: AUTORES

Los valores presentados en la tabla XVI fueron tomados de la caracterización inicial del agua residual

Tabla XVII.- Datos para determinación de parámetros de diseño

| PARÁMETRO | VALOR | UNIDADES |
|--------------|--------|----------|
| DBO efluente | 7075 | mg/L |
| SST salida | 4639.5 | mg/L |

Fuente: AUTORES

Para los valores presentados en la tabla XVII se consideró un 75% de la eficiencia de la planta.

Tabla XVIII.- Datos para determinación de parámetros de diseño

| PARÁMETRO | VALOR | UNIDADES |
|-----------------|-------|----------|
| Caudal afluente | 200 | L/h |
| | 4800 | L/d |
| | 3.34 | L/min |

| | | |
|--|-----|-------------------|
| | 4.8 | m ³ /d |
|--|-----|-------------------|

Fuente: AUTORES

El caudal considerado corresponde al 50% del caudal teórico de las cabezas de poder empleadas

Tabla XIX.- Datos para determinación de parámetros de diseño

| PARÁMETRO | VALOR | UNIDADES |
|---|-------------|----------------------------|
| SSVLM | 4000 | mg/L |
| θ_c | 11 | d |
| Concentración de sólidos totales en el lodo sedimentado | 15000 | mg/L |
| Y (20°C) | 0.4-0.8 | mg VSS/mg DBO ₅ |
| Kd (20°C) | 0.025-0.075 | d ⁻¹ |

Fuente: Metcalf y Eddy

Los datos presentados en la tabla XIX corresponden a valores típicos para el diseño del tratamiento de agua residual por lodos activos según Metcalf y Eddy

3.1.1 DBO DEL EFLUENTE

Para la determinación de la DBO del efluente se empleará la ecuación 2.

$$S_e = \text{DBO}_e - (0.63)S S$$

$$S_e = 7075 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - (0.63)(4639.5 \frac{\text{mg}}{\text{L}})$$

$$S_e = 4152.115 \text{ mg/L}$$

3.1.2 BIOMASA EN EL REACTOR

En base a la ecuación 3 tenemos

$$XV = \frac{\theta_c Y Q (S_o - S_e)}{1 + k_d \theta_c}$$

$$XV = \frac{(11 \text{ d})(0.6 \frac{\text{mg SSV}}{\text{mg DBO}}) \left(4800 \frac{\text{L}}{\text{d}}\right) \left(28300 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 4152.115 \frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}{1 + (0.06 \text{ d}^{-1}) (11 \text{ d})}$$

$$XV = 460.85 \times 10^6 \text{ mg SSV}$$

$$XV = 460.85 \text{ kg SSV}$$

3.1.3 VOLUMEN DEL REACTOR

Para conocer el volumen del reactor se empleó la ecuación 4.

$$V = \frac{XV}{X}$$

$$V = \frac{460.85 \times 10^6 \text{ mg SSV}}{4000 \text{ mg/L}}$$

$$V = 115212.5 \text{ L}$$

$$V = 115.21 \text{ m}^3$$

Con lo cual se determina que el tanque de aireación tendrá las siguientes medidas: 4.25 m de largo, 4.25 m de ancho y 6.5 m de profundidad.

3.1.4 TIEMPO MEDIO DE RETENCIÓN HIDRAÚLICA

Para la determinación del tiempo que el agua residual permanecerá en el tanque de aireación nos basamos en la ecuación 5.

$$\tau = \frac{V}{Q}$$

$$\tau = \frac{115212.5 \text{ L}}{3.34 \text{ L/min}}$$

$$\tau = 34494.76 \text{ min}$$

$$\tau = 23.95 \text{ d}$$

3.1.5 PRODUCCIÓN DE LODO

En base a la ecuación 7 se obtendrá el valor correspondiente a la producción de lodos.

$$P_X = \frac{Y Q (S_o - S_e)}{1 + k_d \theta_c} = \frac{XV}{\theta_c}$$

$$P_X = \frac{(0.6 \text{ mg SSV/mg DBO}) \left(4800 \frac{\text{L}}{\text{d}}\right) (28300 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 4152.115 \frac{\text{mg}}{\text{L}})}{1 + (0.06 \text{ d}^{-1}) (11 \text{ d})}$$

$$P_X = 41.89 \times 10^6 \text{ mg SSV/d}$$

$$P_x = 41.89 \text{ kg SSV/d}$$

3.1.6 PRODUCCIÓN DE SÓLIDOS TOTALES DE DESECHO

Para esto se empleará la ecuación 8.

$$\text{Lodos seco} = \frac{P_x}{\text{porción volátil de los sólidos totales}}$$

$$\text{Lodos seco} = \frac{41.89 \text{ kg SSV/d}}{0,8}$$

$$\text{Lodos seco} = 52.36 \text{ kgSSV/d}$$

3.1.7 CAUDAL DE LOS LODOS DE DESECHO

Nos basaremos en la ecuación 9.

$$Q_w = \frac{\text{lodos seco} * (10^3)}{\text{concentración de sólidos totales en el lodo sedimentado}}$$

$$Q_w = \frac{52.36 \text{ kgSSV/d} * (10^3)}{15000 \text{ mg/L}}$$

$$Q_w = 3.49 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_w = 3490 \text{ L/d}$$

$$Q_w = 2.42 \text{ L/min}$$

3.1.8 CAUDAL DE RECIRCULACIÓN

Se empleará la ecuación 10.

$$Q_R = \frac{Q X}{X_R - X}$$

Se considerará que el 80% de los sólidos son volátiles dentro del lodo sedimentado.

$$Q_R = \frac{3.34 \frac{\text{L}}{\text{min}} (4000 \frac{\text{mg}}{\text{L}})}{(0,8 * 15000 \frac{\text{mg}}{\text{L}}) - 4000 \text{mg/L}}$$

$$Q_R = 1.67 \text{ L/min}$$

$$Q_R = 2404.8 \text{ L/d}$$

$$Q_R = 1.67 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{min}$$

3.1.9 RELACIÓN DE RECIRCULACIÓN

Se empleará la ecuación 11.

$$R \% = \frac{Q_R}{Q}$$

$$R \% = \frac{1.67 \text{ L/min}}{3.34 \text{ L/min}}$$

$$R = 0.5 = 50\%$$

3.1.10 CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA (COV)

La carga orgánica volumétrica la determinaremos mediante la ecuación 13.

$$COV = \frac{Q S_o}{V_r}$$

$$COV = \frac{\left(3.34 \frac{\text{L}}{\text{min}}\right) \left(28300 \frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}{115212.5 \text{ L}}$$

$$COV = 0.82 \text{ mg/min L}$$

$$COV = 0.82 \text{ g/min m}^3$$

3.1.11 RELACIÓN ALIMENTO MICROORGANISMO

Esta relación se la determina en base a la ecuación 14.

$$\frac{A}{M} = \frac{Q \cdot S_o}{V X}$$

$$\frac{A}{M} = \frac{\left(4.8 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right) \left(28300 \frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}{\left(115.21 \text{ m}^3\right) \left(4000 \frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}$$

$$\frac{A}{M} = 0.29 \text{ d}^{-1}$$

3.1.12 DEMANDA DE OXÍGENO

Para este parámetro se determina en base a la ecuación 15.

$$DO = 1.5 Q (S_o - S_e) - 1.42 X_r Q_w$$

$$DO = 1.5 (3.34 \text{ L/min}) \left(28300 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - \frac{41152.115 \text{ mg}}{\text{L}}\right) - 1.42 (0.8 * 15000) \left(2.42 \frac{\text{L}}{\text{min}}\right)$$

$$DO = 79744.10 \text{ mg/min}$$

$$DO = 114.83 \text{ kg/d}$$

3.1.13 CAUDAL DE AIRE EN CONDICIONES NORMALES

Se empleará la ecuación 16.

$$Q_{\text{aire}} = \frac{DO}{(0.232)(1.20)}$$

$$Q_{\text{aire}} = \frac{114.83 \text{ kg/d}}{(0.232)(1.20)}$$

$$Q_{\text{aire}} = 412.46 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{\text{aire}} = 412.46 \times 10^3 \text{ L/d}$$

3.1.14 CAUDAL DE AIRE REAL

Se utilizará la ecuación 17.

$$Q_{\text{aire real}} = \frac{Q_{\text{aire}}}{0.08}$$

$$Q_{\text{aire real}} = \frac{412.46 \text{ m}^3/\text{d}}{0.08}$$

$$Q_{\text{aire real}} = 5155.75 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{\text{aire real}} = 5155801.006 \text{ L/d}$$

3.1.15 VOLUMEN DE AIRE REQUERIDO POR UNIDAD DE DBO APLICADA AL TANQUE DE AIREACIÓN

Se empleará la ecuación 18.

$$\frac{Q_{\text{aire}}}{\text{DBO}} = \frac{Q_{\text{aire real}} (1000)}{S_o Q}$$

$$\frac{Q_{\text{aire}}}{\text{DBO}} = \frac{5155801.006 \frac{\text{L}}{\text{d}} (1000)}{(28300) \text{mg/L} (4800 \frac{\text{L}}{\text{d}})}$$

$$\frac{Q_{\text{aire}}}{\text{DBO}} = 37.95 \text{ m}^3_{\text{aire}} / \text{kg DBO}$$

3.1.16 VOLUMEN DE AIRE REQUERIDO POR UNIDAD DE DBO REMOVIDA

Para el cálculo se empleará la ecuación 19.

$$\frac{Q_{\text{aire}}}{\text{DBO}} = \frac{Q_{\text{aire real}} (1000)}{(S_o - S_e) Q}$$

$$\frac{Q_{\text{aire}}}{\text{DBO}} = \frac{5155801.006 \frac{\text{L}}{\text{d}} (1000)}{(28300 - 4152.115) \frac{\text{mg}}{\text{L}} (4800 \frac{\text{L}}{\text{d}})}$$

$$\frac{Q_{\text{aire}}}{\text{DBO}} = 44.48 \text{ m}^3_{\text{aire}} / \text{kg DBO}$$

3.1.17 EFICIENCIA EN REMOCIÓN DE DBO TOTAL

La eficiencia se determinó en base a la ecuación 20.

$$E = \frac{(S_o - S_e)}{S_o}$$

$$E = \frac{(28300 - 7075) \text{mg/L}}{28300 \text{ mg/L}}$$

$$E = 75\%$$

3.1.18 EFICIENCIA EN REMOCIÓN DE DBO SOLUBLE

Dicha eficiencia se determinó en base a la ecuación 21.

$$E = \frac{(S_o - S_e)}{S_o}$$

$$E = \frac{(28300 - 4152.115) \text{mg/L}}{28300 \text{ mg/L}}$$

$$E = 85\%$$

3.1.19 TASA ESPECÍFICA DE UTILIZACIÓN DEL SUSTRATO

Este cálculo se basa en la ecuación 22.

$$U = \frac{(S_o - S)}{\tau X} = \frac{Q(S_o - S)}{VX}$$

$$U = \frac{3.34 \text{ L/min} * (28300 - 7075) \text{mg/L}}{115212.5 \text{ L} \left(\frac{4000 \text{mg}}{\text{L}} \right)}$$

$$U = 1.54 \times 10^{-4} \text{ min}^{-1}$$

$$U = 0.22 \text{ d}^{-1}$$

3.1.20 DISEÑO DEL SEDIMENTADOR

Para el diseño del sedimentador se consideró el mismo volumen y área del tanque de aireación.

Tabla XX.- Datos para el diseño del tanque sedimentador

| PARÁMETRO | VALOR | UNIDADES |
|----------------|-----------------------|---------------------|
| Caudal | 200 | L/h |
| | 4800 | L/d |
| | 3.34 | L/min |
| | 4.8 | m ³ /d |
| Volumen | 115212.5 | L |
| | 115.21 | m ³ |
| Área | 18 | m ² |
| Q _R | 1.67x10 ⁻³ | m ³ /min |
| | 2.4048 | m ³ /d |

Fuente: AUTORES

3.1.20.1 TASA SUPERFICIAL

La tasa superficial se determinó según la ecuación 23.

$$TS = \frac{Q}{A}$$

$$TS = \frac{4.8 \text{ m}^3/\text{d}}{18 \text{ m}^2}$$

$$TS = 0.27 \text{ m}^2/\text{m}^3\text{d}$$

3.1.20.2 CARGA DE SÓLIDOS

Según la ecuación 24 tenemos

$$CS = \frac{(Q+Q_R) * X_T}{A * 1000 * 24}$$

$$CS = \frac{(4.8 \text{ m}^3/\text{d} + 2.4048 \text{ m}^3/\text{d}) * 4000 \text{ mg/L}}{18 \text{ m}^2 * 1000 * 24}$$

$$Cs = 0.07 \text{ kg SS/m}^2\text{h}$$

3.1.20.3 INCLINACIÓN DEL TANQUE DE SEDIMENTACIÓN

Se considera una inclinación del 20%, con lo cual tenemos lo siguiente:

$$\text{Tg}^{-1} 0.2 = 11.31$$

$$\text{Tg } 11.31 = \frac{m}{4.5 \text{ m}}$$

$$m = 0.9 \text{ m} = 90 \text{ cm}$$

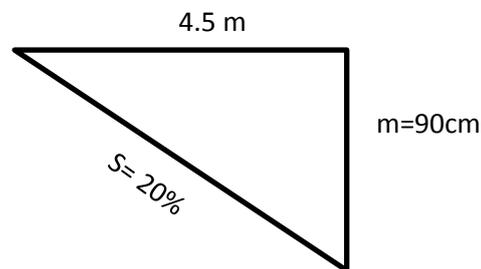


Figura 13.- Pendiente del tanque de sedimentación (Autores)

3.1.21 POTENCIA DEL COMPRESOR

Basándonos en la ecuación 27 y 28 tenemos:

$$28300 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1\text{kg}}{1000000 \text{ mg}} * \frac{1000 \text{ L}}{1\text{m}^3} * 4.8 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 135.84 \text{ kg DBO/d}$$

$$135.84 \frac{\text{kg DBO}}{\text{d}} * 37.95 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} * \frac{1\text{d}}{24\text{h}} * \frac{1\text{h}}{60 \text{ min}} = 3.57 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 126.32 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$$

La presión hidrostática del agua según la ecuación 29 es:

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = \rho gh$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = 1200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.75 \text{ m}$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = 8820 \text{ Pa} = 1.28 \text{ psi}$$

Considerando una presión atmosférica de 14.7 psi en condiciones normales y según la ecuación 30 tenemos que la presión absoluta es:

$$P_{\text{absoluta}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$P_{\text{absoluta}} = 14.7 \text{ psi} + 1.28 \text{ psi}$$

$$P_{\text{absoluta}} = 15.98 \text{ psi}$$

A partir de lo cual la potencia del compresor según la ecuación 31 es la siguiente:

$$P = \frac{0.22 Q}{\eta} \left\{ \left[\frac{P_{\text{abs}}}{14.7} \right]^{0.283} - 1 \right\}$$

$$P = \frac{0.22 * 126.32 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}}{0.8} \left\{ \left[\frac{15.98 \text{ psi}}{14.7} \right]^{0.283} - 1 \right\}$$

$$P = 0.83 \text{ HP} = 1 \text{ HP}$$

3.2 CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS REALES OBTENIDOS DURANTE EL TRATAMIENTO

3.2.1 DETERMINACIÓN DE CAUDALES

A continuación se determinarán cada uno de los caudales necesarios dentro de la planta de tratamiento de agua residual por lodos activos a escala de laboratorio, lo cual se realizará en base a la ecuación 1.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Para lo cual se considerará el tiempo que tardo en llenarse de agua un recipiente de volumen determinado.

3.2.1.1 CAUDAL DEL PASO DEL AGUA TANQUE RESERVORIO – TANQUE DE AIREACIÓN

Tabla XXI.- Datos para determinación de caudal

| Volumen (L) | Tiempo (s) | Caudal (L/s) |
|-------------|------------|--------------|
| 2 | 34,66 | 0,0577 |
| 2 | 33,64 | 0,0594 |

| | | |
|------------------------------|-------|---------------|
| 2 | 33,18 | 0,0603 |
| 2 | 34,44 | 0,0581 |
| 2 | 34,64 | 0,0577 |
| 2 | 34,28 | 0,0583 |
| Caudal Promedio (L/s) | | 0.0585 |

Fuente: AUTORES

El caudal fue determinado con la llave de paso abierta al 50%

3.2.1.2 CAUDAL DEL PASO DEL AGUA TANQUE DE AIREACIÓN – TANQUE DE SEDIMENTACIÓN

Tabla XXII.- Datos para determinación de caudal

| Volumen (L) | Tiempo (s) | Caudal (L/s) |
|------------------------------|------------|----------------|
| 2 | 41,56 | 0,0481 |
| 2 | 39,66 | 0,0504 |
| 2 | 40,02 | 0,0499 |
| 2 | 41,43 | 0,0482 |
| 2 | 41,22 | 0,0485 |
| 2 | 41,65 | 0,0480 |
| Caudal Promedio (L/s) | | 0,04885 |

Fuente: AUTORES

El caudal fue determinado con la llave de paso abierta al 50%

3.2.1.3 CAUDAL DE SALIDA DEL AGUA TRATADA

Tabla XXIII.- Datos para determinación de caudal

| Volumen (L) | Tiempo (s) | Caudal (L/s) |
|-------------|------------|--------------|
| 2 | 48,96 | 0,0408 |
| 2 | 46,66 | 0,0428 |
| 2 | 48,82 | 0,0409 |
| 2 | 47,43 | 0,0421 |
| 2 | 47,89 | 0,0417 |
| 2 | 47,65 | 0,0414 |

| | |
|------------------------------|---------------|
| Caudal Promedio (L/s) | 0,0414 |
|------------------------------|---------------|

Fuente: AUTORES

El caudal fue determinado con la llave de paso abierta al 50%

3.2.1.4 CAUDAL DE RECIRCULACIÓN (100%)

El caudal de recirculación fue determinado con la llave de paso abierta totalmente.

Tabla XXIV.- Datos para determinación de caudal

| Volumen (L) | Tiempo (s) | Caudal (L/s) |
|------------------------------|-------------------|---------------------|
| 41,25 | 41,67 | 0,989 |
| 57,5 | 58,90 | 0,976 |
| 42,5 | 42,95 | 0,989 |
| Caudal Promedio (L/s) | 0,984 | |

Fuente: AUTORES

3.2.1.5 CAUDAL DE RECIRCULACIÓN (75%)

El caudal de recirculación fue determinado con la llave de paso abierta hasta la señal que indica el 75%

Tabla XXV.- Datos para determinación de caudal

| Volumen (L) | Tiempo (s) | Caudal (L/s) |
|------------------------------|-------------------|---------------------|
| 32,5 | 33 | 0,984 |
| 37 | 39 | 0,948 |
| 40,75 | 42,17 | 0,966 |
| Caudal Promedio (L/s) | 0,966 | |

Fuente: AUTORES

3.2.1.6 CAUDAL DE RECIRCULACIÓN (50%)

El caudal de recirculación fue determinado con la llave de paso abierta hasta la mitad.

Tabla XXVI.- Datos para determinación de caudal

| Volumen (L) | Tiempo (s) | Caudal (L/s) |
|--------------------|-------------------|---------------------|
| 14,25 | 15,45 | 0,938 |
| 14,75 | 15,48 | 0,952 |

| | | |
|------------------------------|-------|--------------|
| 14,25 | 15,56 | 0,931 |
| Caudal Promedio (L/s) | | 0,940 |

Fuente: AUTORES

3.2.1.7 CAUDAL DE RECIRCULACIÓN (25%)

El caudal de recirculación fue determinado con la llave de paso abierta hasta la señal del 25%.

Tabla XXVII.- Datos para determinación de caudal

| Volumen (L) | Tiempo (s) | Caudal (L/s) |
|------------------------------|------------|--------------|
| 10,25 | 15,58 | 0,657 |
| 7,5 | 15,43 | 0,486 |
| 7,75 | 15,60 | 0,496 |
| Caudal Promedio (L/s) | | 0,546 |

Fuente: AUTORES

3.2.2 CÁLCULO PARA LA DESOXIGENACIÓN DEL AGUA CORRIENTE

3.2.2.1 ADICIÓN DE SULFITO SÓDICO (Na_2SO_3)

Teóricamente según Ramalho se requieren 7.9 ppm de Na_2SO_3 para eliminar 1 ppm de OD, de modo que al nosotros tener el agua corriente con un valor de OD de 8.70 ppm tenemos el siguiente cálculo:

$$7.9 \text{ ppm} * 8.70 \text{ ppm} = 68.73 \text{ ppm de } \text{Na}_2\text{SO}_3$$

Al utilizar un 20% de exceso tenemos:

$$68.73 \text{ ppm de } \text{Na}_2\text{SO}_3 (120/100) = 82.48 \text{ ppm}$$

Pudiendo tomarse 83 mg/L de Na_2SO_3 lo que es igual a 83×10^{-6} mg/l de $\text{Na}_2\text{SO}_3/\text{kg}$ agua.

Ya que se cuenta con 50 kg de agua la cantidad de Na_2SO_3 a adicionar es de 4.15×10^{-3} kg Na_2SO_3 lo que equivale a 4.15 g de Na_2SO_3

3.2.2.2 ADICIÓN DE CLORURO DE COBALTO (CoCl₂)

Base: 1.5 ppm de Co²⁺

Peso molecular CoCl₂ = 130

Peso atómico de Co = 59

Por lo tanto tenemos

$$1.5 * 130/59 = 3.3 \text{ ppm CoCl}_2 = 3.3 \times 10^{-6} \text{ kg CoCl}_2/\text{kg agua}$$

De modo que para los 50 litros necesitaremos 1.65×10^{-4} kg CoCl₂ lo que equivale a 0.2 g CoCl₂.

3.2.3 PARÁMETROS DEL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL POR LODOS ACTIVOS

En base a la experimentación realizada a lo largo del tratamiento de agua residual proveniente de la quesera Lácteos “Llin Llin Pucará” se pudieron obtener los datos siguientes, los mismos que serán empleados para el cálculo de los diversos parámetros de tratamiento.

Tabla XXVIII.- Datos para determinación de parámetros del tratamiento

| PARÁMETRO | AFLUENTE | TANQUE DE AIREACIÓN | EFLUENTE | UNIDADES |
|-------------------------------|----------|---------------------|----------|-------------------|
| DBO | 28300 | | 350 | mg/L |
| Caudal | 0.0585 | | | L/s |
| | 5054.4 | | | L/d |
| | 5.0544 | | | m ³ /d |
| SSVLM | | 1500 | | mg/L |
| SSTLM | | 1681 | | |
| Sólidos suspendidos volátiles | 13360 | | 380 | mg/L |
| Sólidos totales | 20300 | | 3 | mg/L |
| Sólidos suspendidos totales | 18558 | | 420 | mg/L |
| Θ _c | 11 | | | D |

| | | |
|---|-------|------|
| Concentración de sólidos totales en el lodo sedimentado | 47800 | mg/L |
|---|-------|------|

Fuente: AUTORES

Todos los valores presentados en la tabla XXVIII corresponden a datos reales obtenidos a lo largo de la experimentación.

3.2.3.1 COEFICIENTES CINÉTICOS

Tabla XXIX.- Datos para determinación de los coeficientes cinéticos

| Experiencia | DQO afluente (S_o mg/L) | DQO efluente (S mg/L) | θ (d) | θ_c (d) | x (mg SSV/L) |
|-------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 32000 | 395 | 1,5 | 1 | 940 |
| 2 | 32000 | 3200 | 1 | 0,5 | 920 |
| 3 | 32000 | 8800 | 0,5 | 0,33 | 830 |
| 4 | 32000 | 16400 | 0,33 | 0,17 | 820 |
| 5 | 32000 | 18400 | 0,17 | 0,08 | 680 |

Fuente: AUTORES

Estos valores se obtuvieron experimentalmente, y a partir de los mismos se realizan los cálculos correspondientes obteniendo la siguiente tabla:

Tabla XXX.- Datos para determinación de los coeficientes cinéticos

| $1/\theta_c$ (d^{-1}) | $(S_o - S)/X\theta$ (d^{-1}) | $X\theta / (S_o - S)$ (d) | $1/S$ (mg/L) ⁻¹ |
|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 22,41489362 | 0,044613194 | 0,002531646 |
| 2 | 31,30434783 | 0,031944444 | 0,0003125 |
| 3,03030303 | 55,90361446 | 0,017887931 | 0,000113636 |
| 5,882352941 | 57,64966741 | 0,017346154 | 6,09756E-05 |
| 12,5 | 117,6470588 | 0,0085 | 5,43478E-05 |

Fuente: AUTORES

Se procede a realizar una gráfica con $\frac{x\theta}{s_0-s}$ en la ordenada y $\frac{1}{s}$, en las abscisas, en donde la pendiente de la recta que se obtiene corresponde a el valor de $\frac{K_s}{k}$ y la ordenada en el origen a el valor de $\frac{1}{k}$.

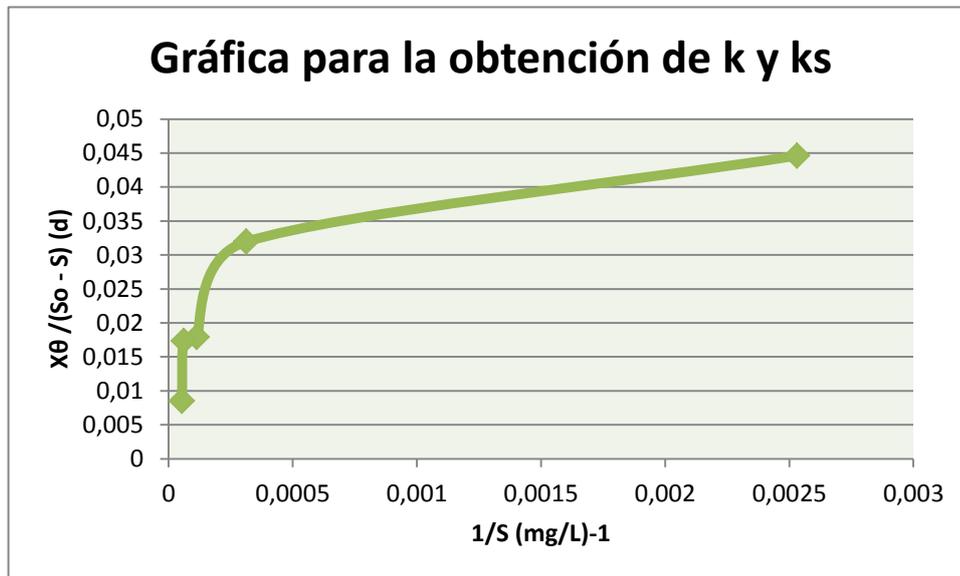


Figura 14.- Obtención de ks y k (Autores)

Fuente: AUTORES

Mediante una regresión lineal en la calculadora se tienen los siguientes valores

$\frac{1}{k} = 0,017$ y $\frac{K_s}{k} = 11,33 \text{ d. mg/L}$; de donde tenemos que:

$$K = 58,82 \text{ d}^{-1}$$

$$K_s = 11,33 * 58,82$$

$$K_s = 666,43 \text{ mg/L}$$

A continuación se elabora una gráfica de $\frac{1}{\theta_c}$ en las abscisas y $\frac{s_0-s}{x\theta}$ en las ordenadas, en donde la pendiente de dicha recta nos permitirá obtener el valor de Y y la ordenada en el origen el valor de k_d .

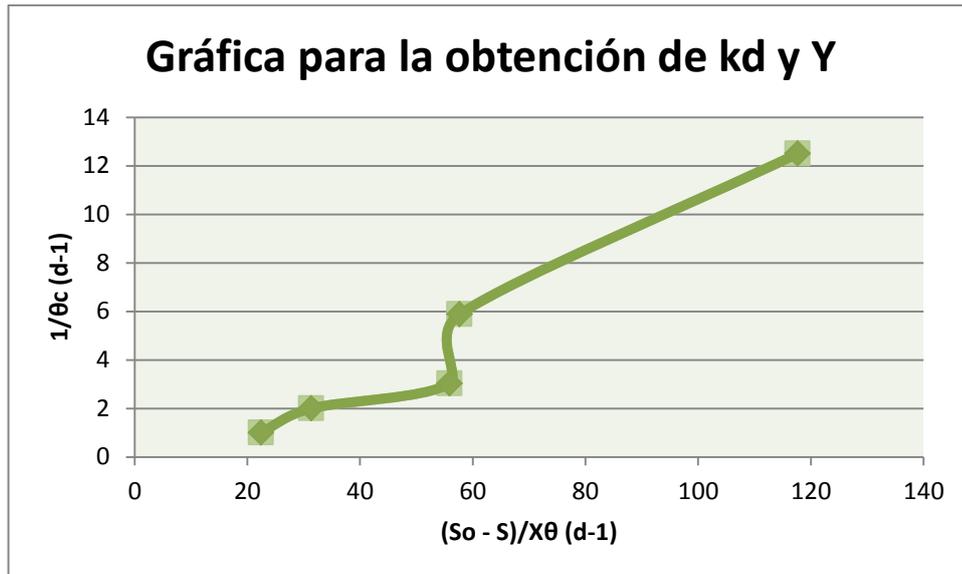


Figura 15.- Obtención de kd y Y (Autores)

Repitiendo el procedimiento anterior mediante una regresión lineal se obtuvo los siguientes valores:

$$K_d = 2,045 \text{ d}^{-1}$$

$$Y = 0,1215 \text{ (mg SSV/mg DBO)}$$

3.2.3.2 DBO DEL EFLUENTE

Para la determinación de la DBO del efluente se empleará la ecuación 2.

$$S_e = DBO_e - (0.63) S S$$

$$S_e = 350 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - (0.63)(420)$$

$$S_e = 85.4 \text{ mg/L}$$

3.2.3.3 BIOMASA EN EL REACTOR

En base a la ecuación 3 tenemos

$$XV = \frac{\theta_c Y Q (S_o - S_e)}{1 + k_d \theta_c}$$

$$XV = \frac{(11 \text{ d})(0,1215 \text{ mg SSV/mg DBO}) \left(5054.5 \frac{\text{L}}{\text{d}}\right) \left(28300 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 85.4 \frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}{1 + (2.045 \text{ d}^{-1})(11 \text{ d})}$$

$$XV = 8112330.062 \text{ mg SSV}$$

$$XV = 8,11 \text{ kg SSV}$$

3.2.3.4 VOLUMEN DEL REACTOR

Para conocer el volumen del reactor se empleó la ecuación 4

$$V = \frac{XV}{X}$$
$$V = \frac{8112330.062 \text{ mg SSV}}{1500 \text{ mg/L}}$$

$$V = 5407.22 \text{ L}$$

$$V = 5.35 \text{ m}^3$$

3.2.3.5 TIEMPO MEDIO DE RETENCIÓN HIDRAÚLICA

Para la determinación del tiempo que el agua residual permanecerá en el tanque de aireación nos basamos en la ecuación 5.

$$\tau = \frac{V}{Q}$$
$$\tau = \frac{5.35 \text{ m}^3}{5.85 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$\tau = 91452.99 \text{ s}$$

$$\tau = 25.4 \text{ h}$$

3.2.3.6 PRODUCCIÓN DE LODO

En base a la ecuación 7 se obtendrá el valor correspondiente a la producción de lodos.

$$P_X = \frac{Y Q (S_o - S_e)}{1 + k_d \theta_c} = \frac{XV}{\theta_c}$$
$$P_X = \frac{(0,1215 \text{ mg SSV}/\text{mg DBO}) (5054.5 \frac{\text{L}}{\text{d}}) (28300 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 85.4 \frac{\text{mg}}{\text{L}})}{1 + (2.045 \text{ d}^{-1}) (11\text{d})}$$

$$P_X = 737484.55 \text{ mg SSV/d}$$

$$P_X = 0.74 \text{ kg SSV/d}$$

3.2.3.7 PRODUCCIÓN DE SÓLIDOS TOTALES DE DESECHO

Para esto se empleará la ecuación 8.

$$\text{Lodos seco} = \frac{P_x}{\text{porción volátil de los sólidos totales}}$$

$$\text{Lodos seco} = \frac{0,74 \text{ kgSSV/d}}{0,8}$$

$$\text{Lodos seco} = 0,92 \text{ kg SSV/d}$$

3.2.3.8 CAUDAL DE LOS LODOS DE DESECHO

Nos basaremos en la ecuación 9.

$$Q_w = \frac{\text{lodos seco} * (10^3)}{\text{concentración de sólidos totales en el lodo sedimentado}}$$

$$Q_w = \frac{0,92 \text{ kgSSV/d} * (10^3)}{47800 \text{ mg/L}}$$

$$Q_w = 0.02 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_w = 19.24 \text{ L/d}$$

$$Q_w = 0.01 \text{ L/min}$$

3.2.3.9 CAUDAL DE RECIRCULACIÓN

Se empleará la ecuación 10.

$$Q_R = \frac{Q \cdot X}{X_R - X}$$

Se considerará que el 80% de los sólidos son volátiles dentro del lodo sedimentado.

$$Q_R = \frac{5.85 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} (1500 \frac{\text{mg}}{\text{L}})}{(0,8 * 47800 \frac{\text{mg}}{\text{L}}) - 1500 \text{mg/L}}$$

$$Q_R = 3.77 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_R = 3.77 \times 10^{-3} \text{ L/s}$$

$$Q_R = 0.23 \text{ L/min}$$

3.2.3.10 RELACIÓN DE RECIRCULACIÓN

Se empleará la ecuación 11.

$$R \% = \frac{Q_R}{Q}$$

$$R \% = \frac{0,23 \text{ L/min}}{3.51 \text{ L/min}}$$

$$R\% = 6.5 \%$$

3.2.3.11 INDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS IVL

Para determinar este valor usaremos la ecuación 12.

$$IVL = \frac{V_{30}}{X_T} * 1000$$

$$IVL = \frac{(30 \frac{\text{mL}}{\text{L}})}{1681 \text{ mg/L}} * 1000$$

$$IVL = 17.84 \text{ mL/g}$$

3.2.3.12 CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA (COV)

La carga orgánica volumétrica la determinaremos mediante la ecuación 13.

$$COV = \frac{Q S_0}{V_r}$$

$$COV = \frac{(3.51 \frac{\text{L}}{\text{min}})(28300 \frac{\text{mg}}{\text{L}})}{5350 \text{ L}}$$

$$COV = 18.56 \text{ mg/min L}$$

3.2.3.13 RELACIÓN ALIMENTO MICROORGANISMO

Esta relación se la determina en base a la ecuación 14.

$$\frac{A}{M} = \frac{Q * S_0}{VX}$$

$$\frac{A}{M} = \frac{(5.0544 \frac{\text{m}^3}{\text{d}})(28300 \frac{\text{mg}}{\text{L}})}{(5.35 \text{ m}^3)(1500 \frac{\text{mg}}{\text{L}})}$$

$$\frac{A}{M} = 17.82 \text{ d}^{-1}$$

3.2.3.14 DEMANDA DE OXÍGENO

Para este parámetro se determina en base a la ecuación 15.

$$DO = 1.5 Q (S_o - S_e) - 1.42 X_r Q_w$$

$$DO = 1.5 (3.51 \text{ L/min}) \left(28300 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 85.4 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) - 1.42 (0.8 * 47800) \left(0.01 \frac{\text{L}}{\text{min}} \right)$$

$$DO = 213.12 \text{ kg/d}$$

3.2.3.15 CAUDAL DE AIRE EN CONDICIONES NORMALES

Se empleará la ecuación 16.

$$Q_{\text{aire}} = \frac{DO}{(0.232)(1.20)}$$

$$Q_{\text{aire}} = \frac{213.12 \text{ kg/d}}{(0.232)(1.20)}$$

$$Q_{\text{aire}} = 765.51 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{\text{aire}} = 765517.2 \text{ L/d}$$

3.2.3.16 CAUDAL DE AIRE REAL

Se utilizará la ecuación 17.

$$Q_{\text{aire real}} = \frac{Q_{\text{aire}}}{0.08}$$

$$Q_{\text{aire real}} = \frac{765.51 \text{ m}^3/\text{d}}{0.08}$$

$$Q_{\text{aire real}} = 9568 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{\text{aire real}} = 9.5 \times 10^6 \text{ L/d}$$

3.2.3.17 VOLUMEN DE AIRE REQUERIDO POR UNIDAD DE DBO APLICADA AL TANQUE DE AIREACIÓN

Se empleará la ecuación 18.

$$\frac{Q_{\text{aire}}}{\text{DBO}} = \frac{Q_{\text{aire real}} (1000)}{S_o Q}$$

$$\frac{Q_{\text{aire}}}{\text{DBO}} = \frac{9.5 \times 10^6 \text{ L/d} (1000)}{(28300) \text{ mg/L} (5054.4 \frac{\text{L}}{\text{d}})}$$

$$\frac{Q_{\text{aire}}}{\text{DBO}} = 66.41 \text{ m}^3 \text{ aire / kg DBO}$$

3.2.3.18 VOLUMEN DE AIRE REQUERIDO POR UNIDAD DE DBO REMOVIDA

Para el cálculo se empleará la ecuación 19.

$$\frac{Q_{\text{aire}}}{\text{DBO}} = \frac{Q_{\text{aire real}} (1000)}{(S_0 - S_e) Q}$$

$$\frac{Q_{\text{aire}}}{\text{DBO}} = \frac{9.5 \times 10^6 \text{ L/d} (1000)}{(28300 - 85.4) (5054.4 \frac{\text{L}}{\text{d}})}$$

$$\frac{Q_{\text{aire}}}{\text{DBO}} = 66.62 \text{ m}^3 \text{ aire / kg DBO}$$

3.2.3.19 EFICIENCIA EN REMOCIÓN DE DBO TOTAL

La eficiencia se determinó en base a la ecuación 20.

$$E = \frac{(S_0 - S_e)}{S_0}$$

$$E = \frac{(28300 - 350) \text{ mg/L}}{28300 \text{ mg/L}}$$

$$E = 98\%$$

3.2.3.20 EFICIENCIA EN REMOCIÓN DE DBO SOLUBLE

Dicha eficiencia se determinó en base a la ecuación 21.

$$E = \frac{(S_0 - S_e)}{S_0}$$

$$E = \frac{(28300 - 85.4) \text{ mg/L}}{28300 \text{ mg/L}}$$

$$E = 99\%$$

3.2.3.21 TASA ESPECÍFICA DE UTILIZACIÓN DEL SUSTRATO

Este cálculo se basa en la ecuación 22.

$$U = \frac{(S_0 - S)}{\tau X} = \frac{Q (S_0 - S)}{VX}$$

$$U = \frac{(28300 - 350)\text{mg/L}}{1.06 \text{ d} \left(\frac{1500\text{mg}}{\text{L}} \right)}$$

$$U = 17.58 \text{ d}^{-1}$$

3.2.3.22 DISEÑO DEL SEDIMENTADOR

Tabla XXXI.- Datos para el diseño del tanque sedimentador

| PARÁMETRO | VALOR | UNIDADES |
|-----------|---------|-------------------|
| Caudal | 0.04885 | L/s |
| | 4220.64 | L/d |
| | 4.22 | m ³ /d |
| Área | 2.25 | m ² |

Fuente: AUTORES

3.2.3.22.1 TASA SUPERFICIAL

La tasa superficial se determinó según la ecuación 23.

$$TS = \frac{Q}{A}$$

$$TS = \frac{4.22 \text{ m}^3/\text{d}}{2.25 \text{ m}^2}$$

$$TS = 1.88 \text{ m}^2/\text{m}^3\text{d}$$

3.2.3.22.1 CARGA DE SÓLIDOS

Según la ecuación 24 tenemos

$$CS = \frac{(Q + Q_R) * X_T}{A * 1000 * 24}$$

$$CS = \frac{(4.22 \text{ m}^3/\text{d} + 0.72 \text{ m}^3/\text{d}) * 1681.25 \text{ mg/L}}{2.25 \text{ m}^2 * 1000 * 24}$$

$$Cs = 0.15 \text{ kg SS/m}^2\text{h}$$

3.2.3.22.2 VOLUMEN DEL SEDIMENTADOR

Nos basamos en la ecuación 25, considerando una altura de 2.25 m

$$V = A * H$$

$$V = 2.25 \text{ m}^2 * 2.25 \text{ m}$$

$$V = 5.06 \text{ m}^3$$

3.2.3.22.3 INCLINACIÓN DEL TANQUE DE SEDIMENTACIÓN

Se considera una inclinación del 20%, con lo cual tenemos lo siguiente:

$$\text{Tg}^{-1} 0.2 = 11.31$$

$$\text{Tg} 11.31 = \frac{m}{1.5 \text{ m}}$$

$$m = 0.1 \text{ m} = 10 \text{ cm}$$

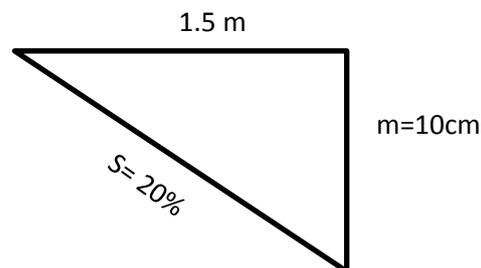


Figura 16.- Pendiente del tanque de sedimentación (Autores)

3.2.4 POTENCIA DEL COMPRESOR

Basándonos en la ecuación 27 y 28 tenemos:

$$28300 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000000 \text{ mg}} * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} * 5.05 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 142.91 \text{ kg DBO/d}$$

$$142.91 \frac{\text{kg DBO}}{\text{d}} * 66.41 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} * \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 6.59 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 232.57 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$$

La presión hidrostática del agua según la ecuación 29 es:

$$P_{H_2O} = \rho g h$$

$$P_{H_2O} = 1200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.75 \text{ m}$$

$$P_{H_2O} = 8820 \text{ Pa} = 1.28 \text{ psi}$$

Considerando una presión atmosférica de 14.7 en condiciones normales y según la ecuación 30 tenemos que la presión absoluta es:

$$P_{absoluta} = P_{atm} + P_{H_2O}$$

$$P_{absoluta} = 14.7 \text{ psi} + 1.28 \text{ psi}$$

$$P_{absoluta} = 15.98 \text{ psi}$$

A partir de lo cual la potencia del compresor según la ecuación 31 es la siguiente:

$$P = \frac{0.22 Q}{\eta} \left\{ \left[\frac{P_{abs}}{14.7} \right]^{0.283} - 1 \right\}$$

$$P = \frac{0.22 * 232.57 \frac{ft^3}{min}}{0.8} \left\{ \left[\frac{15.98 \text{ psi}}{14.7} \right]^{0.283} - 1 \right\}$$

$$P = 1.5 \text{ HP}$$

3.2.5 VELOCIDAD DEL AIRE A LA SALIDA DEL COMPRESOR

Se empleará la ecuación 33.

$$v = \sqrt{\frac{2 * \gamma * R * T}{M (\gamma - 1)} * \left(\frac{1 - (P_e / P_o)^{(\gamma - 1)}}{\gamma} \right)}$$

Datos: T= 15°C = 288 K (datos del compresor)

$$R = 8314 \text{ J/kmol}^\circ\text{K}$$

$$P_e = 71330 \text{ Pa (datos de la ciudad de Riobamba)}$$

$$P_o = 5 \text{ psi} = 34482,75862 \text{ Pa (presión empleada a lo largo del proceso)}$$

$$M = 28,9 \text{ kg/kmol}$$

$$\gamma = 1,4$$

$$v = \sqrt{\frac{2 * (1,4) * \left(\frac{8314 \text{ J}}{\text{kmol}} \right) * 288 \text{ K}}{28,9 \text{ Kg/kmol} (1,4 - 1)} * \left(\frac{1 - (71330 \text{ Pa} / 34482,75862)^{(1,4 - 1)}}{1,4} \right)}$$

$$V = \sqrt{379984,4277 \text{ m}^2/\text{s}^2}$$

$$v = 616.43 \text{ m/s}$$

3.2.6 CAUDAL DE AIRE

Para este cálculo nos basaremos en la ecuación 34. Pero en primer lugar debemos determinar el área de la sección de salida del aire:

$$A = \pi \frac{D^2}{4}$$

Datos: D= 1 cm = 0,01 m (diámetro de la salida del aire)

$$A = \pi \frac{(0.01)^2}{4}$$

$$A = 7.85 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$Q = A \cdot v$$

$$Q = 7.85 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 (616.43 \text{ m/s})$$

$$Q = 0.048 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 48.23 \text{ L/s}$$

3.2.7 CÁLCULO DE K_{la} PARA EL AGUA POTABLE

Esta determinación se la hará en base a los valores que se encuentran en la tabla XXVI que corresponde a las concentraciones de oxígeno medidas cada 10 minutos en el lapso de 1 hora hasta llegar al nivel de saturación.

Tabla XXXII.- Valores de saturación de oxígeno para agua potable

| Tiempo (min) | C Concentración de OD mg/L |
|-----------------|----------------------------------|
| 0 | 0,1 |

| | |
|----|------|
| 10 | 3,41 |
| 20 | 5,02 |
| 30 | 6,81 |
| 40 | 7,05 |
| 50 | 7,12 |
| 60 | 7,26 |

Fuente: AUTORES

3.2.7.1 CÁLCULO DE Cs

La concentración de saturación (Cs) se calcula con los valores de presión de la ciudad de Riobamba (556.8 mmHg) y el valor de Cs_{1atm} y 15°C correspondiente a la capacidad de oxígeno disuelto obtenido de la tabla IX.

Emplearemos la ecuación 35.

$$Cs = Cs_{1atm} * \frac{P}{760}$$

$$Cs = 10.15 \text{ mg/L} * \frac{556.8 \text{ mmhg}}{760 \text{ mmhg}}$$

$$Cs = 7.44 \text{ mg/L}$$

Se procede a completar la tabla XXVII a partir del valor obtenidos de Cs, calculando los valores de $Cs - C$ y $(Cs-Co)/(Cs-C)$ para cada tiempo de medición.

Tabla XXXIII.- Datos para el cálculo de Kla

| Tiempo (min) | C Concentración de OD mg/L | Cs - C (mg/L) | (Cs-Co)/(Cs-C) (mg/L) |
|--------------|----------------------------|---------------|-----------------------|
| 0 | 0,1 | 7,336 | 1,01 |
| 10 | 3,41 | 4,026 | 1,85 |
| 20 | 5,02 | 2,416 | 3,08 |
| 30 | 6,81 | 0,626 | 11,87 |
| 40 | 7,05 | 0,386 | 19,25 |
| | | | |

| | | | |
|----|------|-------|-------|
| 50 | 7,12 | 0,316 | 23,52 |
| 60 | 7,26 | 0,176 | 42,20 |

Fuente: AUTORES

Con los valores obtenidos en la tabla XXXIII procedemos a realizar las gráficas correspondientes de (C_s-C) vs tiempo) y $((C_s-C_o)/(C_s-C)$ vs tiempo).

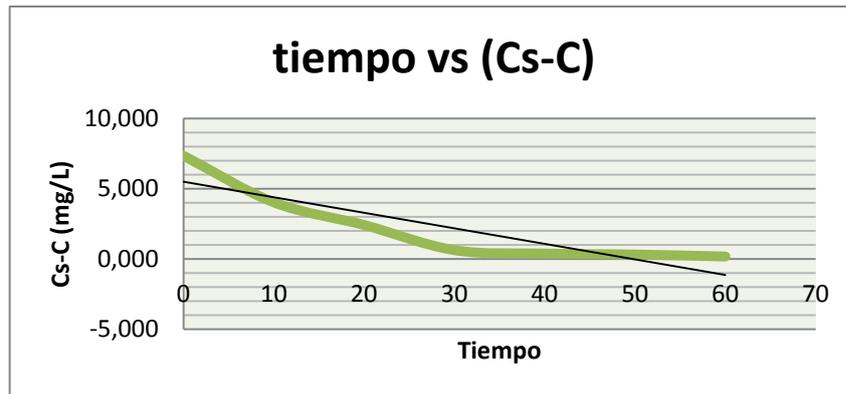


Figura 17.- Tiempo vs (C_s-C) (Autores)

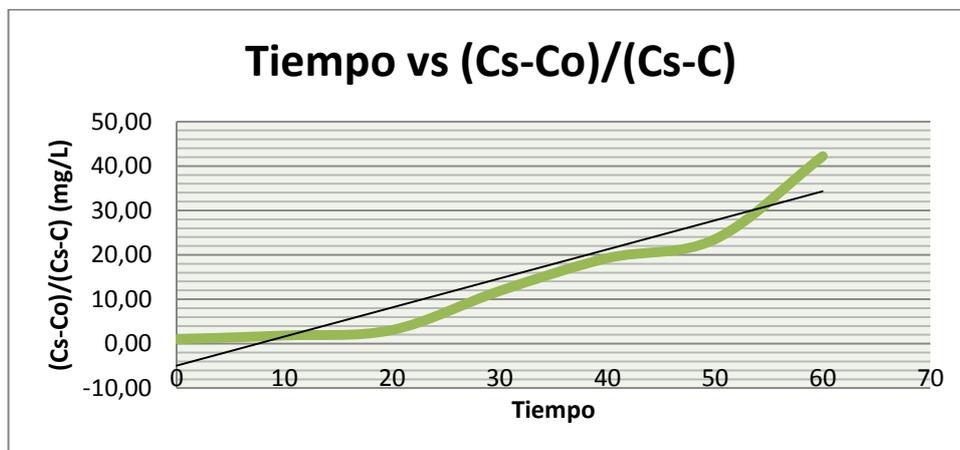


Figura 18.- Tiempo vs $(C_s-C_o)/(C_s-C)$ (Autores)

En las gráficas 17 y 18 se procedió a generar la línea de tendencia para poder conocer el valor de la intersección de la recta con el eje Y, y a partir de éste valor realizar el cálculo correspondiente a K_{la} .

3.2.7.2 K_{la} .

Nos basamos en la ecuación 34.

$$Kla = \frac{2.3}{t} * \log \frac{(Cs - Co)}{(Cs - C)}$$

$$Kla = \left(\frac{2.3}{40 \text{ min}} * \log \frac{5.4 \text{ mg/L}}{0.42 \text{ mg/L}} \right) * 60 \text{ min}$$

$$Kla = 3.83 \text{ h}^{-1}$$

3.2.7.3 CORRECCIÓN DE Kla A 20°C.

Para la corrección usamos la ecuación 36.

$$Kla_{20^{\circ}\text{C}} = \frac{Kla}{\theta^{15-20}}$$

$$Kla_{20^{\circ}\text{C}} = \frac{3.83 \text{ h}^{-1}}{(1.020)^{15-20}}$$

$$Kla_{20^{\circ}\text{C}} = 4.22 \text{ h}^{-1}$$

3.2.8 CÁLCULO DE Kla PARA EL AGUA RESIDUAL

Los valores que se encuentran en la tabla XXXIV corresponden a las concentraciones de oxígeno medidas cada 10 minutos en el lapso de 1 hora hasta llegar al nivel de saturación en el agua residual.

Tabla XXXIV-. Valores de saturación de oxígeno para agua potable

| Tiempo (min) | C Concentración de OD mg/L |
|-------------------------|---|
| 0 | 1.14 |
| 10 | 2.62 |
| 20 | 3.16 |
| 30 | 3.4 |
| 40 | 3.47 |
| 50 | 3.71 |
| 60 | 4.22 |

Fuente: AUTORES

3.2.8.1 CALCULO DE C_{sr}

El cálculo es igual al de C_s, de modo que se empleó la ecuación 35.

$$C_{sr} = C_{S_1 \text{ atm}} * \frac{P}{760}$$

$$C_{sr} = 10.15 \text{ mg/L} * \frac{556.8 \text{ mmhg}}{760 \text{ mmhg}}$$

$$C_{sr} = 7.44 \text{ mg/L}$$

Se procede a completar la tabla XXIX a partir del valor obtenidos de C_{sr}, calculando los valores de C_{sr} – C y (C_{sr}-C_o)/(C_{sr}-C) para cada tiempo de medición.

Tabla XXXV-. Datos para el cálculo de K_{la}

| Tiempo (min) | C Concentración de OD mg/L | C_{sr} – C (mg/L) | (C_{sr}-C_o)/(C_{sr}- C) (mg/L) |
|-------------------------|---|--------------------------------------|--|
| 0 | 1,14 | 6,30 | 1,0 |
| 10 | 2,62 | 4,82 | 1,3 |
| 20 | 3,16 | 4,28 | 1,5 |
| 30 | 3,4 | 4,04 | 1,6 |
| 40 | 3,47 | 3,97 | 1,6 |
| 50 | 3,71 | 3,73 | 1,7 |
| 60 | 4,22 | 3,22 | 2,0 |

Fuente: AUTORES

Con los valores obtenidos en la tabla anterior procedemos a realizar las gráficas correspondientes de (C_s-C vs tiempo) y ((C_s-C_o)/(C_s-C) vs tiempo).

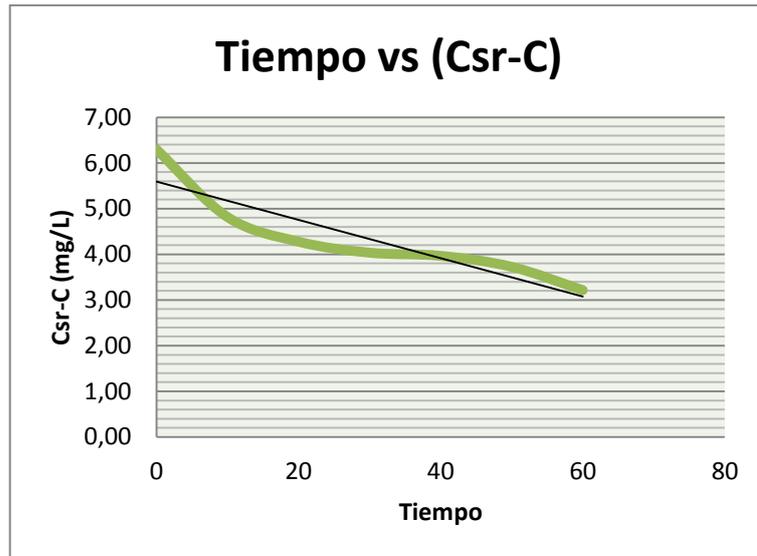


Figura 19.- Tiempo vs (Csr-C) (Autores)

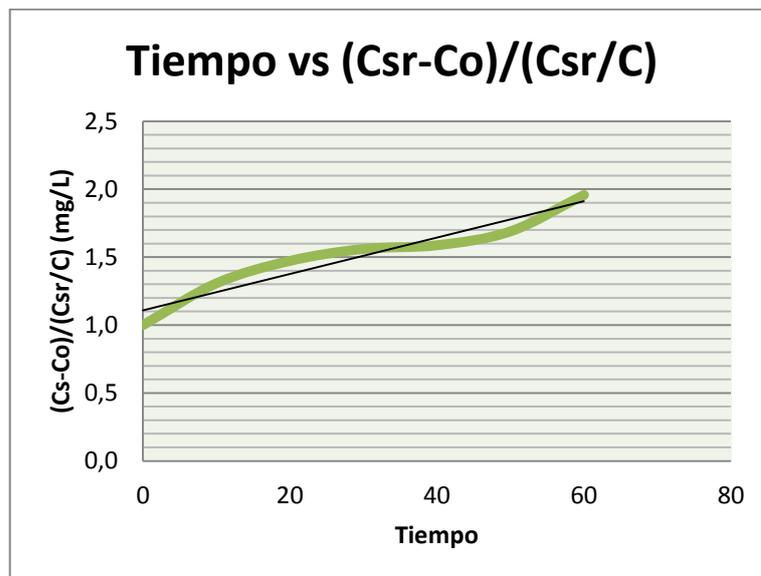


Figura 20.- Tiempo vs (Csr-Co)/(Csr-C)(Autores)

En las gráficas 19 y 20 se procedió a generar la línea de tendencia para poder conocer el valor de la intersección de la recta con el eje Y, y a partir de éste valor realizar el cálculo correspondiente a K_{la} .

3.2.8.2 K_{la}

Nos basamos en la ecuación 34.

$$K_{la} = \frac{2.3}{t} * \log \frac{(Cs - Co)}{(Cs - C)}$$

$$Kla = \left(\frac{2.3}{40 \text{ min}} * \log \frac{6.6 \text{ mg/L}}{1.2 \text{ mg/L}} \right) * 60 \text{ min}$$

$$Kla = 2.55 \text{ h}^{-1}$$

3.2.8.3 CORRECCIÓN DE Kla A 20°C.

La ecuación empleada es la 36

$$Kla_{20^\circ\text{C}} = \frac{Kla}{\theta^{15-20}}$$

$$Kla_{20^\circ\text{C}} = \frac{2.55 \text{ h}^{-1}}{(1.020)^{15-20}}$$

$$Kla_{20^\circ\text{C}} = 2.81 \text{ h}^{-1}$$

3.2.9 CÁLCULO DE α (RELACIÓN DE LA TASA DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO EN AGUA RESIDUAL A AGUA POTABLE)

Se empleó la ecuación 37.

$$\alpha = \frac{\text{Kla del agua residual}}{\text{Kla del agua potable}}$$

$$\alpha = \frac{2.81 \text{ mg/L}}{4.22 \text{ mg/L}}$$

$$\alpha = 0.67$$

3.2.10 CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE SATURACIÓN DE OD EN EL AGUA RESIDUAL A LA DEL AGUA POTABLE O DESTILADA.

Esta relación se calcula por medio de la ecuación 38.

$$\beta = \frac{C_{sr}(\text{agua residual})}{C_s(\text{agua residual})}$$

$$\beta = \frac{7.44 \text{ mg/L}}{7.44 \text{ mg/L}}$$

$$\beta = 1$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL PREVIO AL TRATAMIENTO

Tabla XXXVI.- Resultados de la caracterización antes del tratamiento

| PARÁMETRO | UNIDADES | RESULTADOS |
|-------------------------------|----------|------------|
| Ph | | 5.69 |
| Temperatura | °C | 25.9 |
| Oxígeno disuelto | mg/L | 1.14 |
| Demanda química de oxígeno | mg/L | 32000 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | 28300 |
| Sólidos suspendidos | mg/L | 18558 |
| Sólidos sedimentables | ml/l | 3 |
| Sólidos volátiles | mg/L | 13360 |
| Sólidos totales | mg/L | 20300 |
| Mohos y levaduras | UPC/ml | 5890 |
| Coliformes totales | UFC/ ml | 544000 |
| Escherichia coli. | UFC/ ml | 182000 |

Fuente: Autores

Al caracterizar el agua residual procedente de la quesera “Llin Llin – Pucará” se puede observar que esta presenta una alta carga contaminante lo cual se debe a que el agua residual generada a lo largo del proceso es descargada directamente hacia el río más cercano sin haber recibido tratamiento previo, además gran parte de esta agua

corresponde al suero de leche eliminado en la etapa de desuerado ya que solo una pequeña parte de este es comercializado para la alimentación de los animales de la zona.

4.2 DISEÑO DE LA PLANTA

Tabla XXXVII.- Resultados de los cálculos de diseño

| PARÁMETRO | VALOR | UNIDADES |
|---|------------------------|-----------------|
| CAUDAL | | |
| Caudal | 200 | L/h |
| AIRE | | |
| Potencia del compresor | 1 | HP |
| PARÁMETROS DE DISEÑO PARA EL TRATAMIENTO POR LODOS ACTIVOS | | |
| DBO del efluente | 4152.115 | mg/L |
| Biomasa en el reactor | 460.85 | Kg SSV |
| Volumen del reactor | 115.21 | m ³ |
| Ancho del reactor | 4.25 | m |
| Largo del reactor | 4.25 | m |
| Profundidad del reactor | 6.5 | m |
| Tiempo medio de retención hidráulica | 23.95 | h |
| Producción de lodo | 41.89 | kg SSV/d |
| Producción de Sólidos Totales de desecho | 52.36 | Kg SSV/d |
| Caudal de los lodos de desecho | 3490 | L/d |
| Caudal de recirculación | 2404.8 | L/d |
| Relación de recirculación | 50 | % |
| Carga orgánica volumétrica | 0.82 | mg/min L |
| Relación alimento microorganismo | 0.29 | d ⁻¹ |
| Demanda de oxígeno | 114.83 | kg/d |
| Caudal de aire en | 412.46x10 ³ | L/d |

| | | |
|--|-------------|---|
| condiciones normales | | |
| Caudal de aire real | 5155801.006 | L/d |
| Volumen de aire requerido por unidad de DBO | 37.95 | m ³ _{aire} / kg DBO |
| Volumen de aire requerido por unidad de DBO removida | 44.48 | m ³ _{aire} / kg DBO |
| Eficiencia en remoción de DBO total | 75 | % |
| Eficiencia en remoción de DBO soluble | 85 | % |
| Tasa específica de utilización del sustrato | 0.22 | d ⁻¹ |
| TANQUE SEDIMENTADOR | | |
| Caudal | 200 | L/h |
| Área | 18 | m ² |
| Largo | 4.25 | m |
| Ancho | 4.25 | m |
| Profundidad | 6.5 | m ² |
| Volumen | 115 | m ³ |
| Tasa superficial | 0.27 | m ² /m ³ d |
| Carga de sólidos | 0.07 | kg SS/m ² h |
| Pendiente | 20 | % |

Fuente: Autores

Los resultados de los parámetros obtenidos para el diseño de la planta presentan valores altos lo cual se debe a que el caudal de 200 L/h con el que se trabajó corresponde a un caudal teórico, así como también la concentración de los contaminantes principalmente la DBO y DQO son elevadas.

4.3 CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA

Para la construcción de la planta a escala de laboratorio se consideró el 12% de las dimensiones obtenidas en los cálculos debido a que no se contaba con espacio físico suficiente en donde se pueda construir la planta con las dimensiones calculadas, esto también implicaría una fuerte inversión de dinero y por fines didácticos se decidió finalmente que las dimensiones para la construcción sean las siguientes:

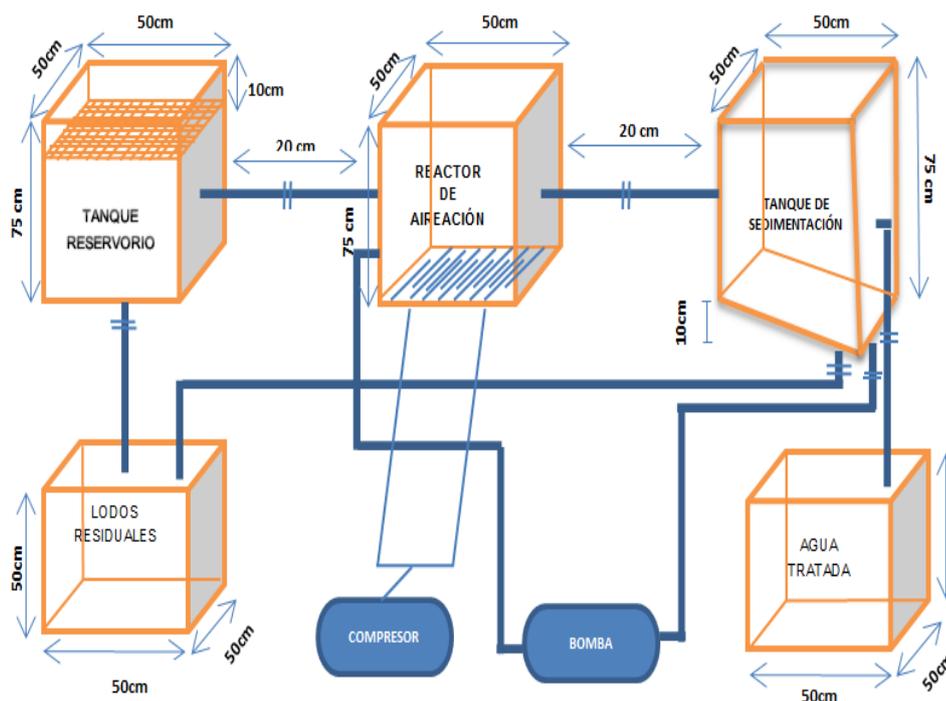


Figura 21.- Plano de la planta para la construcción (Autores)

4.4 DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.4.1 CAUDALES

Tabla XXXVIII.- Resultados de los caudales

| PARÁMETRO | VALOR | UNIDADES |
|---|---------|----------|
| CAUDALES | | |
| Caudal tanque reservorio – tanque de aireación | 0.0585 | L/s |
| Caudal tanque de aireación – tanque de sedimentación | 0.04885 | L/s |
| Caudal de salida del agua | 0.0414 | L/s |

| | | |
|---------------------------------|-------|-----|
| tratada | | |
| Caudal de recirculación 100% | 0.984 | L/s |
| Caudal de recirculación 75% | 0.966 | L/s |
| Caudal de recirculación 50% | 0.940 | L/s |
| Caudal de recirculación 25% | 0.546 | L/s |

Fuente: Autores

Dentro de la planta ya construida se obtuvieron cada uno de los caudales de agua durante el proceso, es así que el mayor caudal lo tenemos en el paso del agua del tanque reservorio al tanque de aireación, mientras que el menor caudal se presenta en la salida del agua tratada esto con el fin de evitar que se genere turbulencia en el tanque de sedimentación.

Mientras que los caudales de recirculación se obtuvieron con la llave de paso abierta a diversos porcentajes, ya que no siempre se va a requerir un mismo caudal de recirculación y este se debe adaptar a las necesidades del proceso. Es así que para la parte experimental se empleó un caudal de 0.546 L/s que corresponde a la llave de paso abierta al 25%.

4.4.2 CONTROL DE VARIABLES DURANTE EL TRATAMIENTO

4.4.2.1 TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA 72 HORAS

Tabla XXXIX.- Tiempo de Retención Hidráulica de 72 horas

| N° de mediciones | Parámetros | | | Intervalos de control |
|------------------|------------|-------------------|---------|-----------------------|
| | pH | Temperatura °C | OD mg/L | |
| 1 | 6.12 | 16.8 | 2.4 | c/12 h |

| | | | | |
|------------------|-------------|-------------|-------------|--------|
| 2 | 6.08 | 17.3 | 2.1 | c/12 h |
| 3 | 5.13 | 17.8 | 1.9 | c/12 h |
| 4 | 5.18 | 17.5 | 2.5 | c/12 h |
| 5 | 5.48 | 17.7 | 2.6 | c/12 h |
| 6 | 6.20 | 17.3 | 2.1 | c/12 h |
| Promedios | 5.69 | 17.4 | 2.27 | |

Fuente: Autores

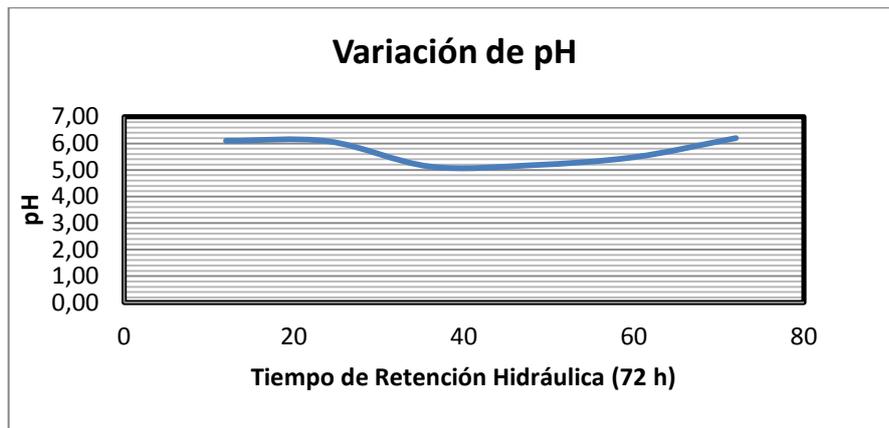


Figura 22.- Variación de pH en las 72 horas de TRH (Autores)

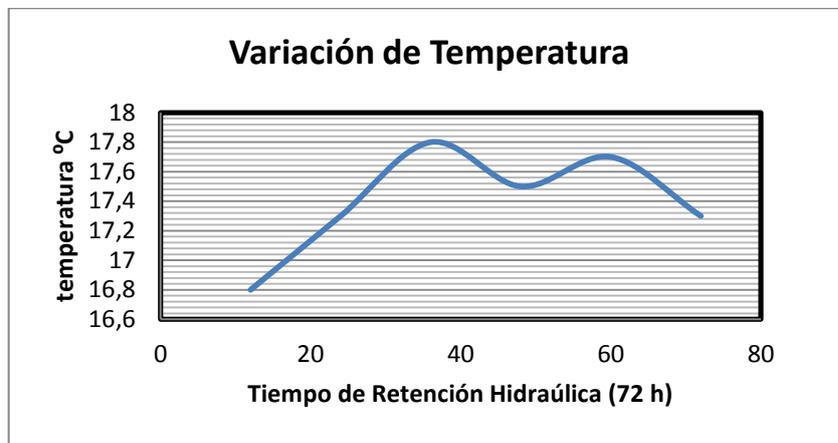


Figura 23.- Variación de temperatura en las 72 horas de TRH (Autores)

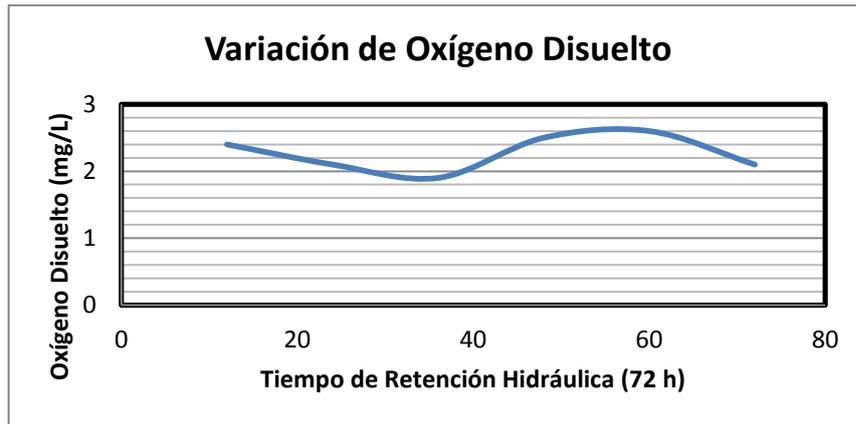


Figura 24.- Variación de Oxígeno Disuelto en las 72 horas de TRH (Autores)

4.4.2.2 TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA 60 HORAS

Tabla XL.- Tiempo de Retención Hidráulica de 60 horas

| N° de mediciones | Parámetros | | | Intervalos de control |
|------------------|-------------|----------------|-------------|-----------------------|
| | pH | Temperatura °C | OD mg/L | |
| 1 | 6.35 | 16.7 | 1.7 | c/12 h |
| 2 | 6.48 | 17.4 | 2.2 | c/12 h |
| 3 | 6.38 | 17.7 | 1.8 | c/12 h |
| 4 | 6.22 | 18.5 | 2.2 | c/12 h |
| 5 | 5.88 | 18.7 | 1.9 | c/12 h |
| Promedios | 6.26 | 17.8 | 1.52 | |

Fuente: Autores

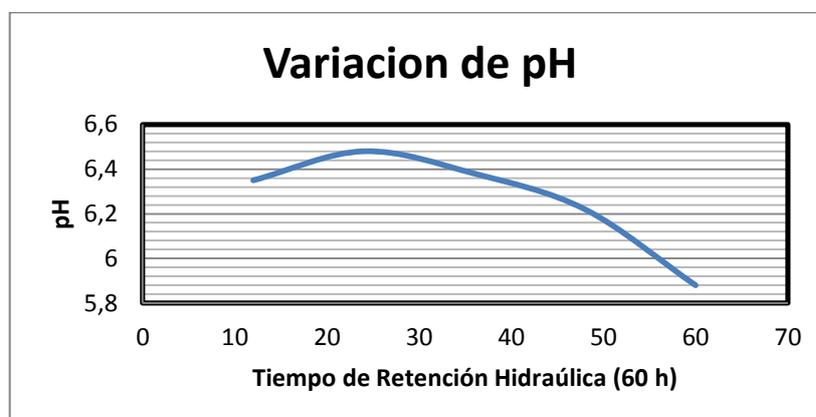


Figura 25.- Variación de pH en las 60 horas de TRH (Autores)

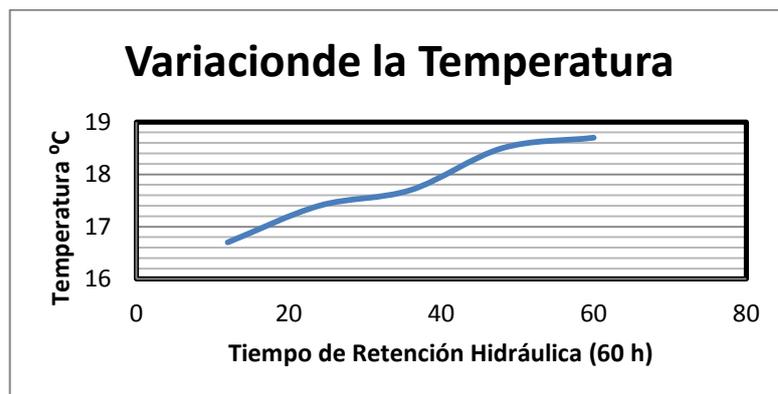


Figura 26.- Variación de temperatura en las 60 horas de TRH (Autores)

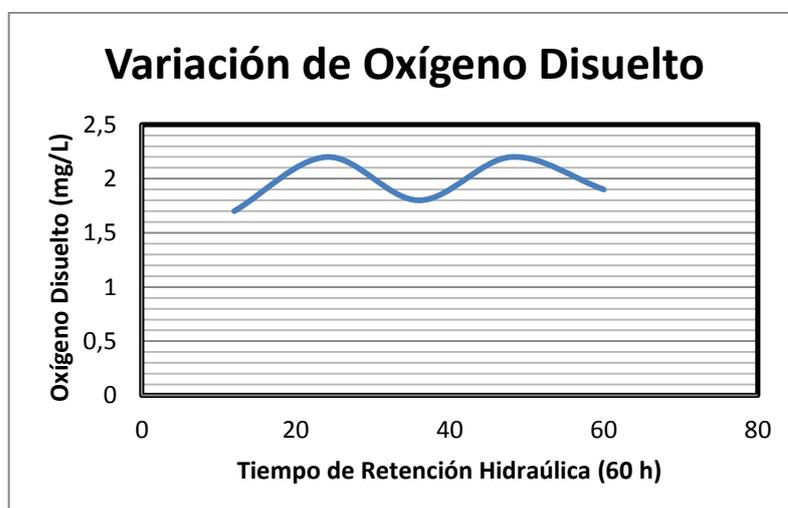


Figura 27.- Variación de Oxígeno Disuelto en las 60 horas de TRH (Autores)

4.4.2.3 TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA 48 HORAS

Tabla XLI.- Tiempo de Retención Hidráulica de 48 horas

| N° de mediciones | Parámetros | | | Intervalos de control |
|------------------|------------|----------------|---------|-----------------------|
| | pH | Temperatura °C | OD mg/L | |
| 1 | 6.20 | 21.2 | 1.9 | c/12 h |
| 2 | 6.45 | 20.4 | 2.2 | c/12 h |

| | | | | |
|------------------|-------------|-------------|--------------|--------|
| 3 | 6.83 | 20.9 | 2.1 | c/12 h |
| 4 | 7.20 | 20.7 | 1.9 | c/12 h |
| Promedios | 6.67 | 20.8 | 2.025 | |

Fuente: Autores

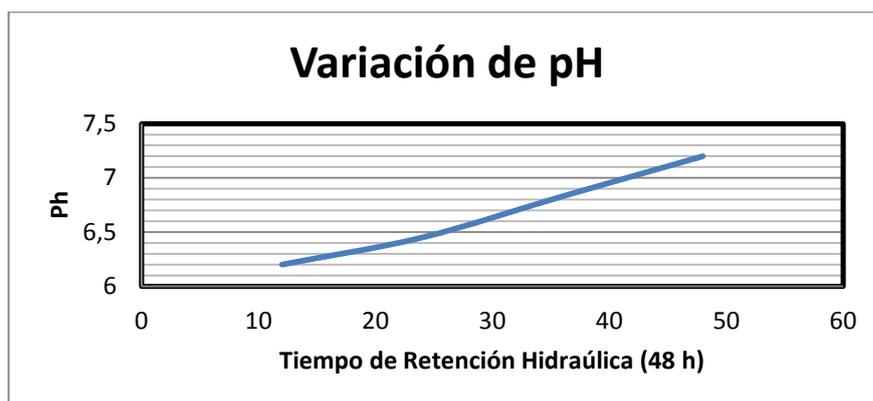


Figura 28.- Variación de pH en las 48 horas de TRH (Autores)

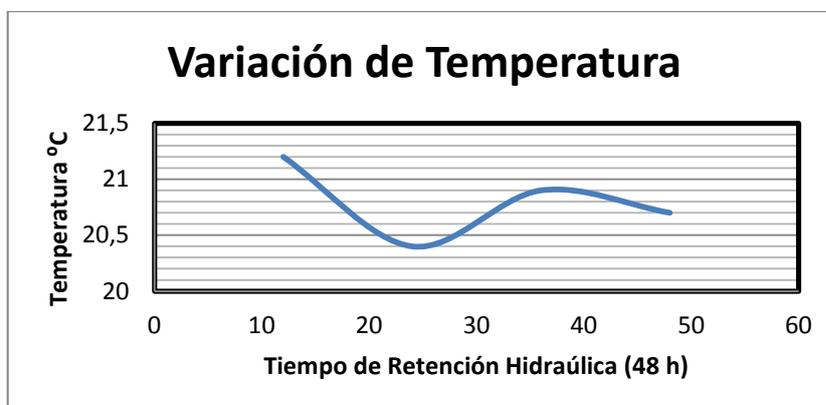


Figura 29.- Variación de Temperatura en las 48 horas de TRH (Autores)

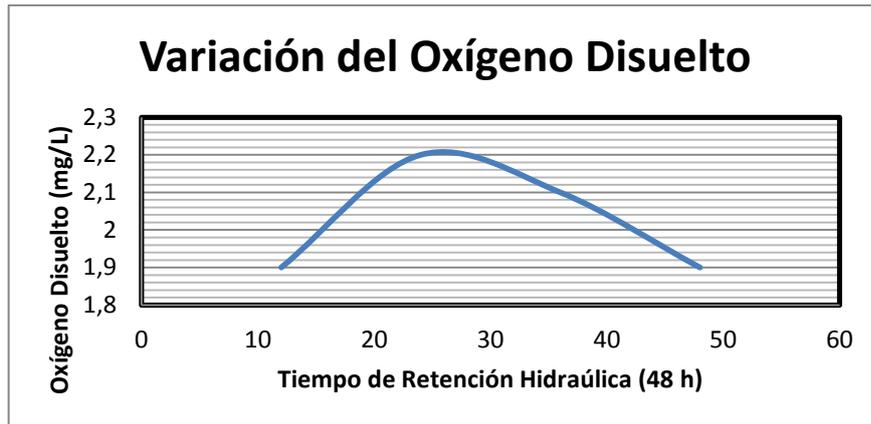


Figura 30.- Variación de Oxígeno Disuelto en las 48 horas de TRH (Autores)

4.4.2.4 TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA 36 HORAS

Tabla XLII.- Tiempo de Retención Hidráulica de 36 horas

| N° de mediciones | Parámetros | | | Intervalos de control |
|------------------|-------------|----------------|------------|-----------------------|
| | pH | Temperatura °C | OD mg/L | |
| 1 | 7.05 | 20.8 | 2.4 | c/12 h |
| 2 | 7.11 | 20.7 | 2.2 | c/12 h |
| 3 | 7.20 | 20.9 | 2.1 | c/12 h |
| Promedios | 7.12 | 20.8 | 2.2 | |

Fuente: Autores

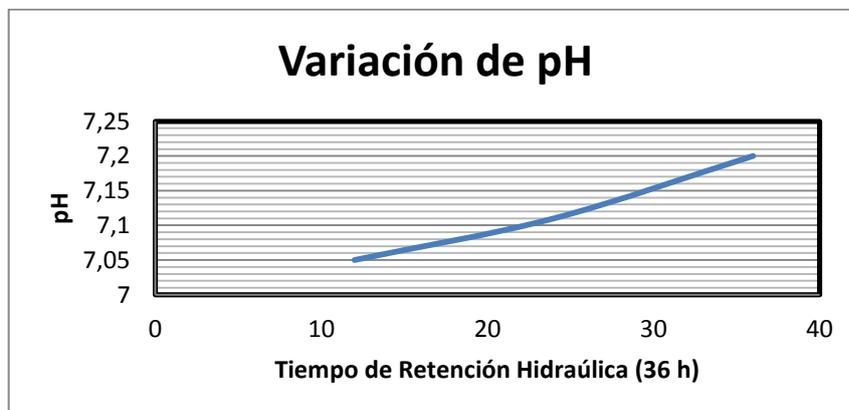


Figura 31.- Variación de pH en las 36 horas de TRH (Autores)

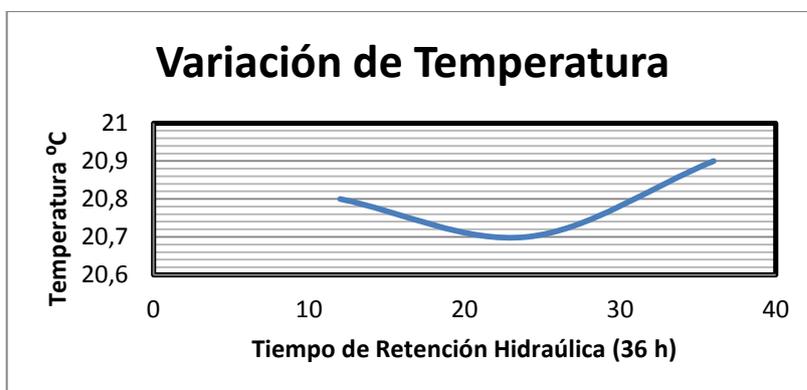


Figura 32.- Variación de temperatura en las 36 horas de TRH (Autores)

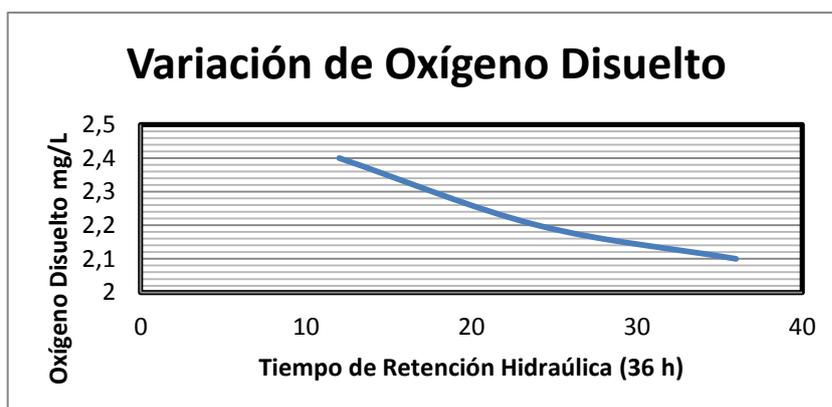


Figura 33.- Variación de Oxígeno Disuelto en las 36 horas de TRH (Autores)

4.4.2.5 TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA 24 HORAS

Tabla XLIII.- Tiempo de Retención Hidráulica de 24 horas

| N° de mediciones | Parámetros | | | Intervalos de control |
|------------------|-------------|----------------|-------------|-----------------------|
| | pH | Temperatura °C | OD mg/L | |
| 1 | 6.57 | 20.20 | 1.8 | c/12 h |
| 2 | 8.04 | 22.5 | 2.1 | c/12 h |
| Promedios | 7,30 | 21,35 | 1,95 | |

Fuente: Autores

4.4.2.6 TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA 12 HORAS

Tabla XLIV.- Tiempo de Retención Hidráulica de 12 horas

| N° de mediciones | Parámetros | | | Intervalos de control |
|------------------|-------------|----------------|------------|-----------------------|
| | pH | Temperatura °C | OD mg/L | |
| 1 | 6.25 | 21.20 | 2.1 | c/12 h |
| Promedios | 6.25 | 21.20 | 2.1 | |

Fuente: Autores

4.4.2.7 TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA 8 HORAS

Tabla XLV.- Tiempo de Retención Hidráulica de 8 horas

| N° de mediciones | Parámetros | | | Intervalos de control |
|------------------|-------------|----------------|------------|-----------------------|
| | pH | Temperatura °C | OD mg/L | |
| 1 | 6.13 | 21.5 | 2.3 | c/8 h |
| Promedios | 6.25 | 21.5 | 2.3 | |

Fuente: Autores

4.4.2.8 TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA 4 HORAS

Tabla XLVI.- Tiempo de Retención Hidráulica de 4 horas

| N° de mediciones | Parámetros | | | Intervalos de control |
|------------------|-------------|----------------|------------|-----------------------|
| | pH | Temperatura °C | OD mg/L | |
| 1 | 6.70 | 20.6 | 2.1 | c/4 h |
| Promedios | 6.70 | 20.6 | 2.1 | |

Fuente: Autores

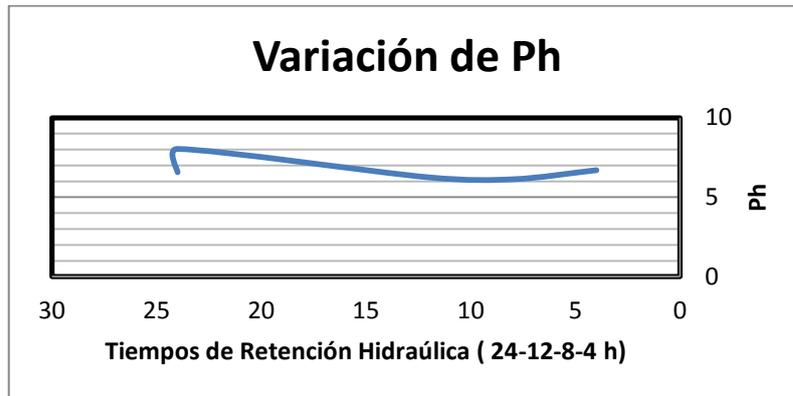


Figura 34.- Variación de pH en las 24-12-8 y 4 horas de TRH (Autores)

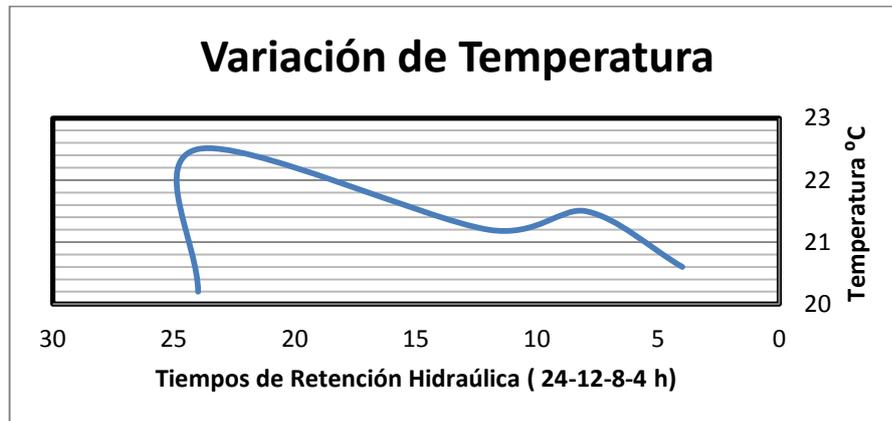


Figura 35.- Variación de temperatura en las 24-12-8 y 4 horas de TRH (Autores)

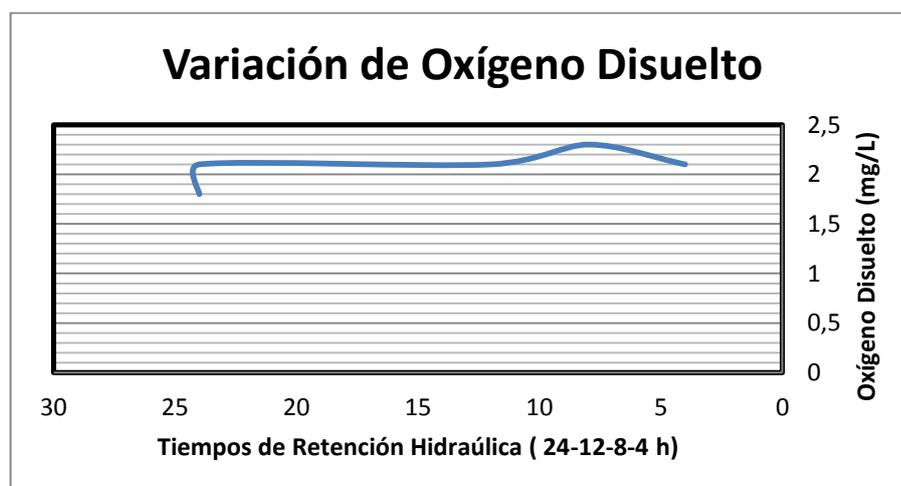


Figura 36.- Variación de Oxígeno Disuelto en las 24-12-8 y 4 horas de TRH (Autores)

Tabla XLVII.- Valores promedios de pH, temperatura y OD en cada tiempo de retención hidráulica

| N° de Mediciones | Parámetros | | | Tiempo De Retención Hidráulica (h) |
|------------------|------------|----------------|---------|------------------------------------|
| | pH | Temperatura °C | OD mg/L | |
| 1 | 5.69 | 17,4 | 2.27 | 72 |
| 2 | 6.26 | 17,8 | 1.52 | 60 |
| 3 | 6.67 | 20,8 | 2.02 | 48 |
| 4 | 7.12 | 20.8 | 2.2 | 36 |
| 5 | 7,30 | 21,35 | 1.95 | 24 |
| 6 | 6.25 | 20.20 | 2.1 | 12 |
| 7 | 6.25 | 21.5 | 2.3 | 8 |
| 8 | 6.70 | 20.6 | 2.1 | 4 |

Fuente: Autores

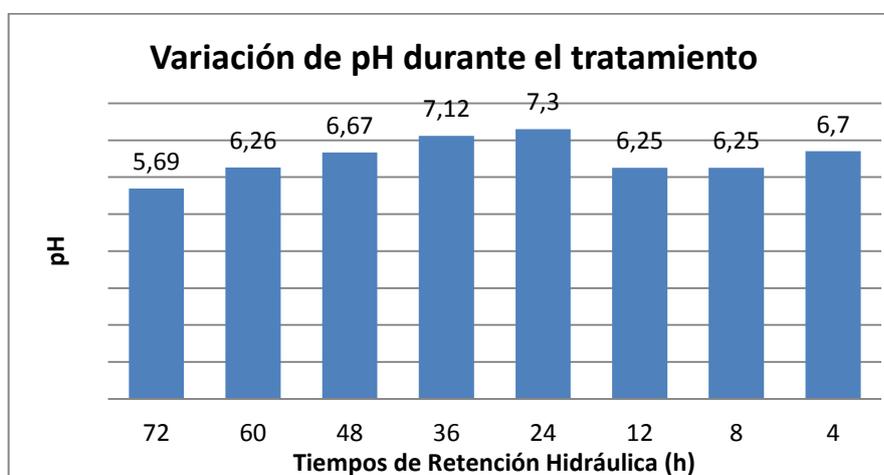


Figura 37.- Variación Promedio del pH durante el tratamiento (Autores)

En la gráfica 37 podemos observar que al inicio de tratamiento cuyo tiempo de retención hidráulica es de 72 horas, el pH es bajo presentando un valor 5.69 de modo que este tuvo que ser controlado mediante la adición de cal con lo cual en el transcurso del tratamiento el valor fue incrementando siendo el valor máximo registrado de 7.30 y el tratamiento finalizó con un pH de 6.70 con un tiempo de retención hidráulico de 4 horas.

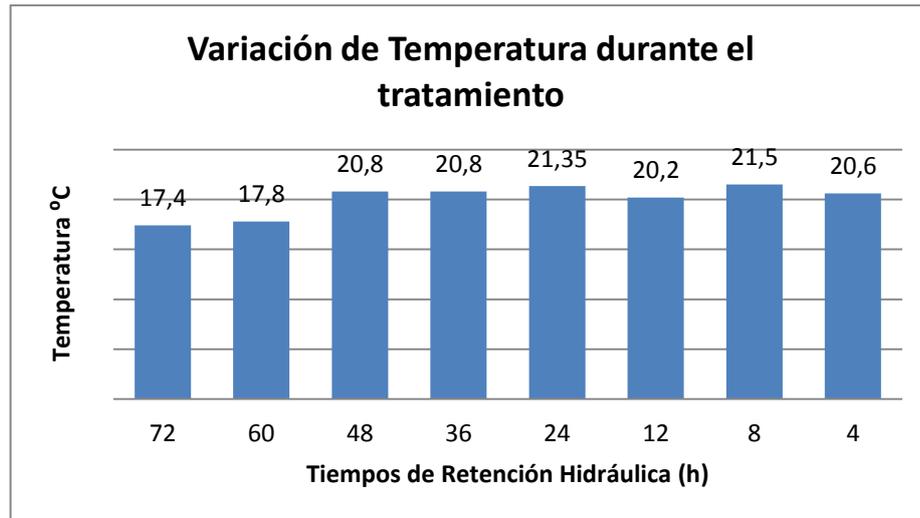


Figura 38.- Variación de Temperatura Durante el Tratamiento (Autores)

En la gráfica 38 se puede observar que durante el tratamiento la temperatura varía, de igual manera al inicio de tratamiento (72 horas de TRH) el valor es bajo con 17,4 °C, esta temperatura no es óptima para el crecimiento de las bacterias por lo que tuvimos que tomar medidas para lograr el aumento de la misma, logrando un aumento de 4°C. Además el aumento de la temperatura registrado se debe también a la actividad microbiana que tuvo lugar durante la fase de aireación, siendo así que el tratamiento culminó con una temperatura de 20.6 °C. Mientras que el valor máximo registrado durante el tratamiento es de 21.5 °C.

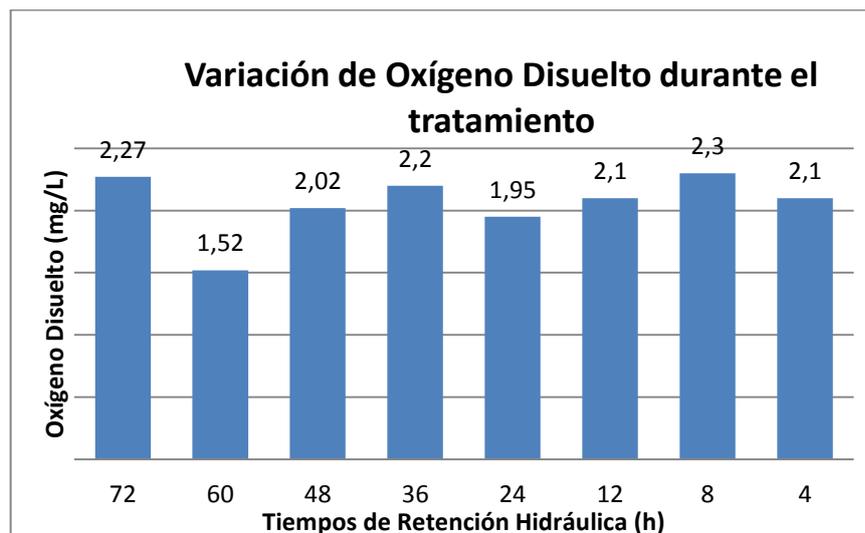


Figura 39.- Variación de Oxígeno Disuelto durante el tratamiento (Autores)

En la gráfica 39 se encuentran los valores correspondientes a las concentraciones promedio de Oxígeno Disuelto durante el tratamiento, los cuales se mantuvieron entre 1.52 y 2.3 mg/L, valores que se encuentran dentro de las rangos óptimos para el tratamiento de aguas residual por lodos activos. Con estas mediciones también se garantiza que el suministro de aire proporcionado por el compresor (5psi) es el adecuado para mantener los niveles óptimos de OD.

4.4.3 MEDICIONES DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES, SUSPENDIDOS Y VOLÁTILES EN EL REACTOR DE AIREACIÓN.

Tabla XLVIII.- Registro de la Medición de SSS, SSV, SST durante la aireación

| N° de Mediciones | PARÁMETRO | | | Tiempo de Retención Hidráulica (h) |
|------------------|------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Sólidos Sedimentables (mL/L) | Sólidos Suspendidos Volátiles (mg/L) | Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) | |
| 1 | 3 | 5030 | 5670 | 72 |
| 2 | 13 | 2060 | 2240 | 72 |
| 3 | 3 | 2110 | 2550 | 72 |
| 4 | 2 | 2250 | 2690 | 72 |
| 5 | 42 | 1170 | 1550 | 60 |
| 6 | 39 | 1210 | 1310 | 60 |
| 7 | 17 | 1010 | 1420 | 60 |
| 8 | 24 | 980 | 1000 | 48 |
| 9 | 30 | 1540 | 1590 | 48 |
| 10 | 30 | 1250 | 1270 | 48 |
| 11 | 28 | 1140 | 1190 | 36 |
| 12 | 30 | 940 | 1010 | 36 |
| 13 | 30 | 920 | 970 | 24 |
| 14 | 36 | 830 | 860 | 12 |

| | | | | |
|-----------|----|-----|-----|---|
| 15 | 42 | 820 | 860 | 8 |
| 16 | 60 | 680 | 720 | 4 |

Fuente: AUTORES

En la tabla XLVIII se pueden observar los valores correspondientes a los SS, SSV y SST durante el tiempo de tratamiento (11 días), indicándose sus diferentes tiempos de retención hidráulica. Los valores obtenidos durante los tiempos de retención de 72 y 60 horas son inestables; incrementan y disminuyen en grandes proporciones debido a que el sistema aún no se encuentra estabilizado.

A partir del tiempo de retención hidráulica de 48 horas el sistema empieza a estabilizarse, ya que la cantidad de sólidos se mantienen sin cambiar de manera significativa, lo cual nos sirve de referencia para decir que el sistema se ha estabilizado.

Tabla XLIX.- Valores Promedio de SSS, SSV, SST durante la aireación

| N° de Mediciones | PARÁMETRO | | | Tiempo de Retención Hidráulica (h) |
|------------------|------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Sólidos Sedimentables (mL/L) | Sólidos Suspendidos Volátiles (mg/L) | Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) | |
| 1 | 5,25 | 2862,5 | 3287,5 | 72 |
| 2 | 32,67 | 1130 | 1426,67 | 60 |
| 3 | 28 | 1256,67 | 1286,67 | 48 |
| 4 | 29 | 1040 | 1100 | 36 |
| 5 | 30 | 920 | 970 | 24 |
| 6 | 36 | 830 | 860 | 12 |
| 7 | 42 | 820 | 860 | 8 |
| 8 | 60 | 680 | 720 | 4 |

Fuente: AUTORES

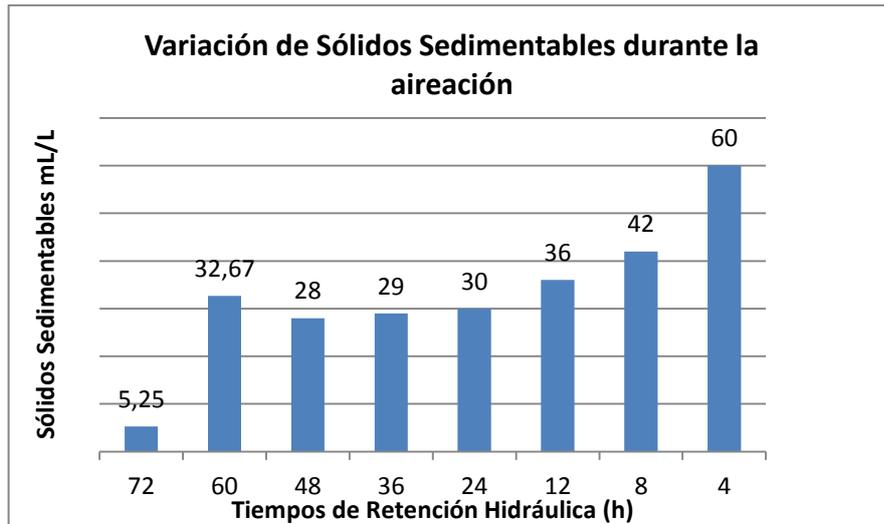


Figura 40.- Valores Promedio de Sólidos Sedimentables durante la aireación (Autores)

En la gráfica 40 se puede observar el comportamiento de los sólidos sedimentables durante la aireación, al inicio del tratamiento incrementan y disminuyen debido a que el sistema aún no está estabilizado, a partir de las 48 horas se mantienen estables presentando ligeros aumentos en su concentración llegando a un valor máximo de 60 mg/L, esto se debe a que a medida que el proceso de tratamiento avanza en el tanque de aireación existe una mayor formación de flóculos los cuales sedimentaran en la fase siguiente del tratamiento.

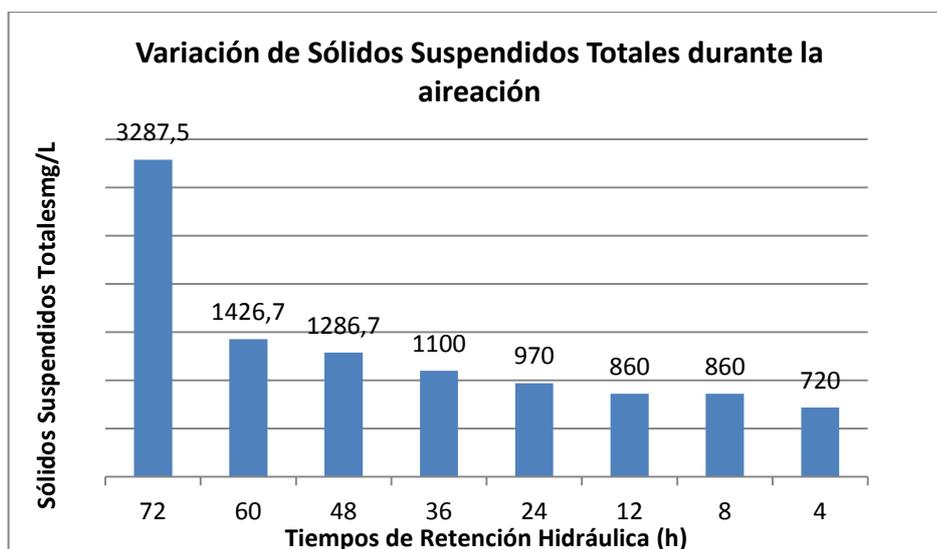


Figura 41.- Valores promedios de SST durante la aireación (Autores)

En la gráfica 41 se puede observar la disminución progresiva en la concentración de SST a partir de las 48 horas de tiempo de retención hidráulica, tiempo en el que el

sistema se estabiliza. Antes de la estabilización los valores disminuyen rápidamente y vuelven a incrementar producto de la inestabilidad del mismo. El valor mínimo registrado es de 720 mg/L.

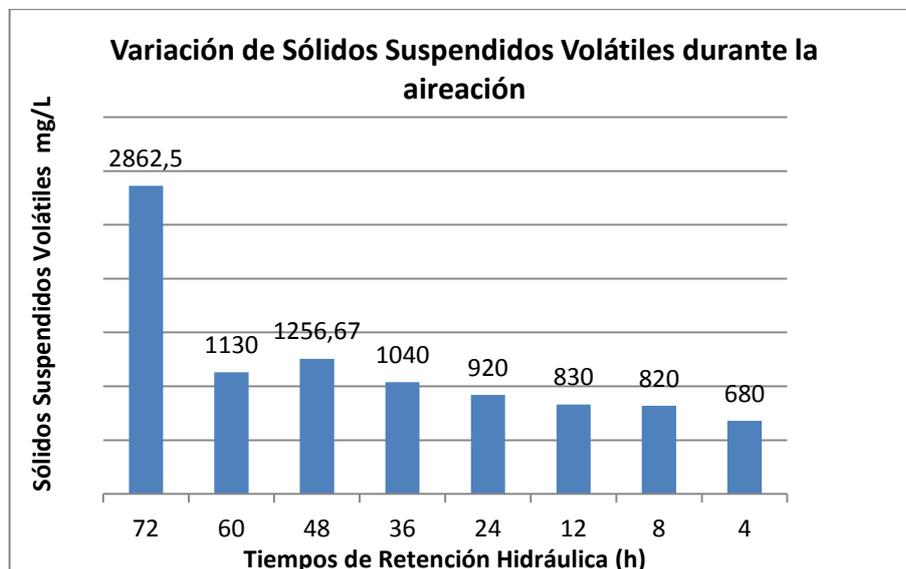


Figura 42.- Valores promedios de Sólidos Suspendidos Volátiles durante la aireación (Autores)

En la gráfica 42 los valores de SSV disminuyen e incrementan ligeramente durante los primeros tiempos de retención hidráulica, a partir de las 48 horas la concentración de SSV disminuye progresivamente hasta llegar a un valor mínimo de 680 mg/L, esta disminución se la puede atribuir a que a medida que aumenta el tiempo de retención hidráulico los microorganismos han consumido la mayor parte del sustrato disponible por lo que tienen la necesidad de usar como alimento su propia biomasa para poder continuar con sus funciones vitales.

4.5 CONTROL DE DQO EN EL EFLUENTE

Tabla L.- Valores de DQO en el Efluente

| N. de muestra | DQO (mg/L) | Tiempo de Retención Hidráulica (h) |
|---------------|------------|------------------------------------|
| 1 | 26800 | 72 |
| 2 | 24800 | 60 |

| | | |
|----------|-------|----|
| 3 | 19200 | 48 |
| 4 | 18400 | 36 |
| 5 | 16400 | 24 |
| 6 | 8800 | 12 |
| 7 | 3200 | 8 |
| 8 | 395 | 4 |

Fuente: Autores

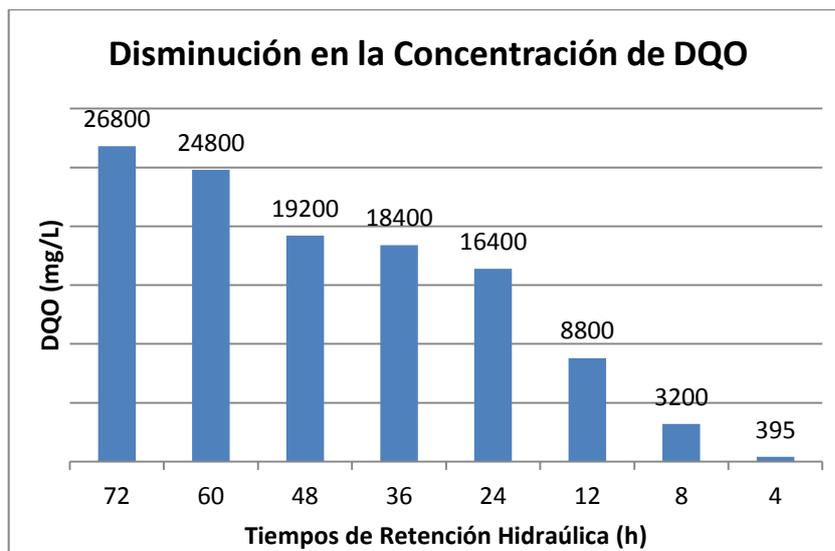


Figura 43.- Disminución en la Concentración de DQO (Autores)

Este parámetro fue considerado para el control de la disminución de la carga contaminante ya que su tiempo de análisis es menor a diferencia de la DBO, de modo que nos permite tener datos de forma más rápida.

Se consideró un tiempo de retención hidráulica de partida de 72 horas (3 días) ya que según experimentaciones realizadas en la ULA-Venezuela se recomienda iniciar con un tiempo de 3 días e ir variándolos con el fin de obtener los datos suficientes para el cálculo de los coeficientes cinéticos. Así que partiendo del tiempo inicial de 72 horas se efectuaron las pruebas a fin de determinar el tiempo más óptimo de remoción de materia orgánica.

En la gráfica 43 se observa la disminución en la concentración de DQO para cada una de las muestras empleadas en los diferentes tiempos de retención hidráulica, teniendo así que en el tiempo de 4 horas la DQO alcanzó su concentración más baja.

Cabe indicar que en los primeros tiempos de retención la disminución de DQO fue en rangos de 2000 mg/L, para posteriormente a partir del tiempo de estabilización del sistema la disminución fue significativa.

4.5.1 K_{la}

El agua potable presentó un valor inicial de OD de 8.7 ppm por lo que para su desoxigenación durante la determinación del valor de K_{la} se requirió de la adición de 4.15 g de Na_2SO_3 y 0.2 g de $CoCl_2$ en 50 L de agua, consiguiendo así que el OD disminuya hasta 0.12 ppm.

Para el caso del agua residual se comenzó con un valor de OD de 1.14 ppm y luego de la aireación se llegó a un valor de 4.22 ppm.

Teniendo así los siguientes resultados:

Tabla LI.- Valores de K_{la}

| PARÁMETRO | AGUA POTABLE | AGUA RESIDUAL | UNIDADES |
|----------------------|--------------|---------------|----------|
| Cs | 7.44 | | mg/L |
| Csr | | 7.44 | mg/L |
| K_{la} | 3.83 | 2.55 | h^{-1} |
| $K_{la} 20^{\circ}C$ | 4.22 | 2.81 | h^{-1} |

Fuente: Autores

Tabla LII.- Valores de α y β

| PARÁMETRO | VALOR | UNIDADES |
|-----------|-------|----------|
| α | 0.67 | - |
| β | 1 | - |

Fuente: Autores

Los valores de K_{la} obtenidos cumplen con lo mencionado según Ramalho quien indica que el valor de K_{la} para el agua residual debe ser menor que el valor de K_{la} para el agua potable debido a que el agua residual presenta concentraciones elevadas de materia orgánica.

Mientras que β presenta un valor de 1 el mismo que está dentro de los rangos establecidos de 0.8 – 1.0.

4.4.4. COEFICIENTES CINÉTICOS

Tabla LIII.- Resultados de los Coeficientes cinéticos

| COEFICIENTES CINÉTICOS | | |
|---|--------|-----------------|
| K (velocidad específica de consumo de sustrato) | 58.82 | d ⁻¹ |
| Y (producción de biomasa por consumo de sustrato) | 0,1215 | mg SSV/mg DBO |
| Kd (consumo de biomasa por respiración endógena) | 2,045 | d ⁻¹ |

Fuente: Autores

Al comparar los valores obtenidos de las constantes cinéticas dentro del proceso de lodos activos con lo propuesto por Metcalf & Eddy se pudo ver que el valor de K se encuentra dentro de los rangos lo que indica que el sustrato utilizado es altamente biodegradable. Mientras que los valores de Y y kd son mayores a los establecidos, lo que indica que hay un alto consumo de biomasa como consecuencia de la respiración endógena.

4.5.2 PARÁMETROS DE DISEÑO DURANTE EL TRATAMIENTO POR LODOS ACTIVOS

Tabla LIV.- Resultados de parámetros de diseño durante el tratamiento

| PARÁMETRO | VALOR | UNIDADES |
|---|--------------|-----------------|
| AIRE | | |
| Velocidad del aire a la salida del compresor | 616.43 | m/s |
| Caudal de aire | 48,23 | L/s |
| Potencia del compresor | 1.5 | HP |
| PARÁMETROS DE DISEÑO PARA EL TRATAMIENTO POR LODOS ACTIVOS | | |
| DBO del efluente | 85.4 | mg/L |

| | | |
|--|----------|------------------------------|
| Biomasa en el reactor | 8,11 | Kg SSV |
| Volumen del reactor | 5.35 | m ³ |
| Tiempo medio de retención hidráulica | 25.4 | h |
| Producción de lodo | 0.74 | kg SSV/d |
| Producción de Sólidos Totales de desecho | 0,92 | Kg SSV/d |
| Caudal de los lodos de desecho | 0.01 | L/min |
| Caudal de recirculación | 0.23 | L/min |
| Relación de recirculación | 6.5 | % |
| IVL | 17.84 | mL/g |
| Carga orgánica volumétrica | 18.56 | mg/min L |
| Relación alimento microorganismo | 17.82 | d ⁻¹ |
| Demanda de oxígeno | 213.12 | kg/d |
| Caudal de aire en condiciones normales | 765517.2 | L/d |
| Caudal de aire real | 9568000 | L/d |
| Volumen de aire requerido por unidad de DBO | 66.41 | m ³ aire / kg DBO |
| Volumen de aire requerido por unidad de DBO removida | 66.62 | m ³ aire / kg DBO |
| Eficiencia en remoción de DBO total | 98 | % |
| Eficiencia en remoción de DBO soluble | 99 | % |
| Tasa específica de utilización del sustrato | 17.58 | d ⁻¹ |
| TANQUE SEDIMENTADOR | | |

| | | |
|------------------|------|----------------------------------|
| Área | 2.25 | m |
| Largo | 1.5 | m |
| Ancho | 1.5 | m |
| Profundidad | 2.25 | m ² |
| Volumen | 5.06 | m ³ |
| Tasa superficial | 1.88 | m ² /m ³ d |
| Carga de sólidos | 0.15 | kg SS/m ² h |
| Pendiente | 20 | % |

Fuente: Autores

Una vez finalizado el proceso de tratamiento se pudo determinar los diferentes parámetros de diseño para el sistema de lodos activos cuyos resultados se pueden ver en la tabla LIV.

El tiempo de retención hidráulica según los cálculos es de 25.4 h, pero al momento de la realización del proceso pudimos observar que el tiempo en el que se presenta una mayor eficiencia de remoción fue entre las 4 y 8 horas; lo cual cumple con el tiempo establecido por Metcalf & Eddy quien indica que los tiempos deben estar entre 3 a 5 horas.

En lo que se refiere a la cantidad de lodos formados en la práctica tuvimos en promedio un volumen de 25 litros de lodos en el tanque de sedimentación de los cuales una tercera parte fue recirculado mediante la bomba con la llave abierta al 25% a un caudal de 0.546 l/s por lo que el tiempo requerido para la recirculación fue de 12 a 15 segundos en promedio; mientras que lo demás fue purgado hacia el tanque de los lodos de desecho.

El índice volumétrico de lodos al final del tratamiento presentó un valor de 17.84 ml/g, por lo que basándonos en la teoría según Ramalho tenemos que nuestro valor se encuentra por debajo de los rangos de 35 a 150 mL/g lo cual indica que es un lodos excesivamente mineralizado, es decir con elevada permanencia en el sistema.

En cuanto a la relación A/M obtuvimos un valor de 17.82 d⁻¹ que es mayor a los rangos establecidos, el control de este parámetro se lo podría hacer disminuyendo la purga de

lodos y aumentando la recirculación de forma que puedan ingresar más microorganismos al sistema.

El tanque de sedimentación fue construido con las mismas medidas del tanque de aireación es decir de 0.5, 0,5 y 0.75 de largo, ancho y profundidad respectivamente con la diferencia de que este presenta una inclinación con una pendiente del 20%, mientras que el tiempo que se mantuvo el agua residual en dicho tanque fue de una hora tiempo en el cual se observó la sedimentación de los flóculos.

Al final del proceso de tratamiento se tuvo una eficiencia en la remoción de DBO total del 98%, por lo que el tratamiento de agua residual fue efectivo.

El caudal de aire emitido por el compresor es de 48,23 L/s el cual es suficiente para cumplir con el requerimiento del caudal de aire real requerido.

4.6 ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL DESPUES DEL TRATAMIENTO

Tabla LV.- Resultados de la caracterización después del tratamiento

| PARÁMETRO | UNIDADES | RESULTADOS |
|-------------------------------|-----------------|-------------------|
| pH | | 6.84 |
| Temperatura | °C | 20.6 |
| Oxígeno disuelto | mg/L | 1.9 |
| Demanda química de oxígeno | mg/L | 395 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | 350 |
| Sólidos suspendidos | mg/L | 420 |
| Sólidos sedimentables | mL/L | 0 |
| Sólidos volátiles | mg/L | 380 |
| Sólidos totales | mg/L | 290 |
| Mohos y levaduras | UPC/ mL | 400 |

| | | |
|--------------------|---------|------|
| Coliformes totales | UFC/ mL | 9840 |
| Escherichia coli. | UFC/ mL | 1080 |

Fuente: Autores

A continuación se presentan gráficas en las cuales podemos observar la variación de los valores de los diversos parámetros analizados tanto antes como después del tratamiento:

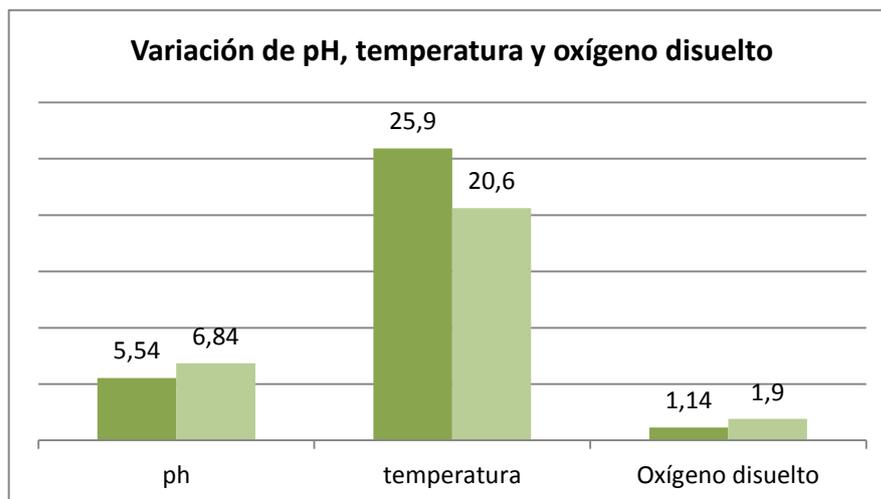


Figura 44.- pH, temperatura y oxígeno disuelto inicial y final (Autores)

Como podemos observar en la gráfica 44 hubo una variación en estos 3 parámetros, de modo que tenemos que el pH tuvo un aumento hasta 6.84 llegando casi a alcanzar un valor neutro de pH; en lo que se refiere a la temperatura esta sufrió una disminución lo cual atribuimos a que la temperatura fue tomada al momento de la recolección de la muestra y por el mismo proceso de la cual proviene (elaboración de queso) tiende a salir aún caliente al momento de la descarga.

El oxígeno disuelto tuvo un aumento de su valor ya que el agua residual que ingresa presento un valor bajo de oxígeno debido a la presencia de alta carga contaminante, dicho valor a lo largo del proceso aumento su valor debido al oxígeno que se le suministro.

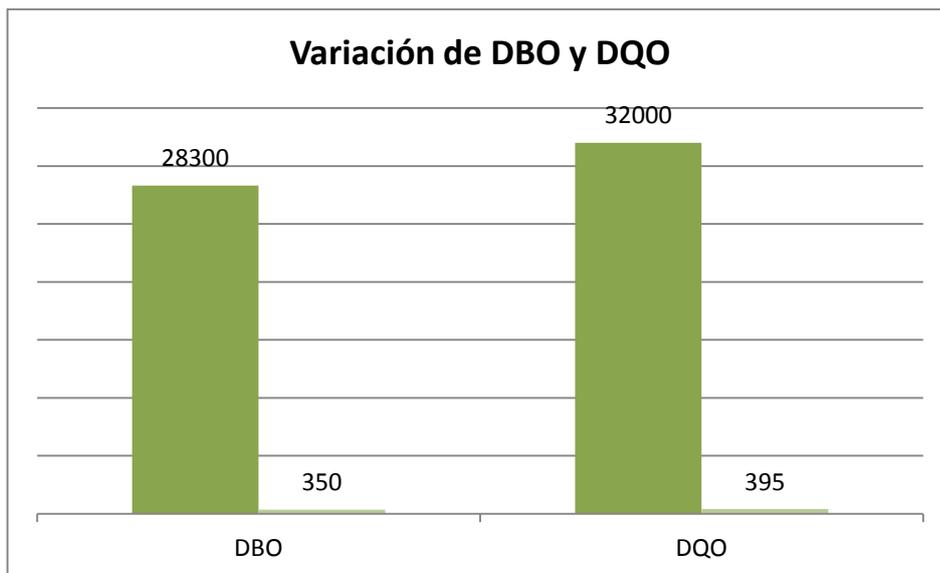


Figura 45.- DBO y DQO inicial y final (Autores)

En la gráfica 45 se puede observar que el agua ingreso con una alta carga contaminante, pero al final del tratamiento se observa una notable disminución tanto de la concentración de DBO como de DQO.

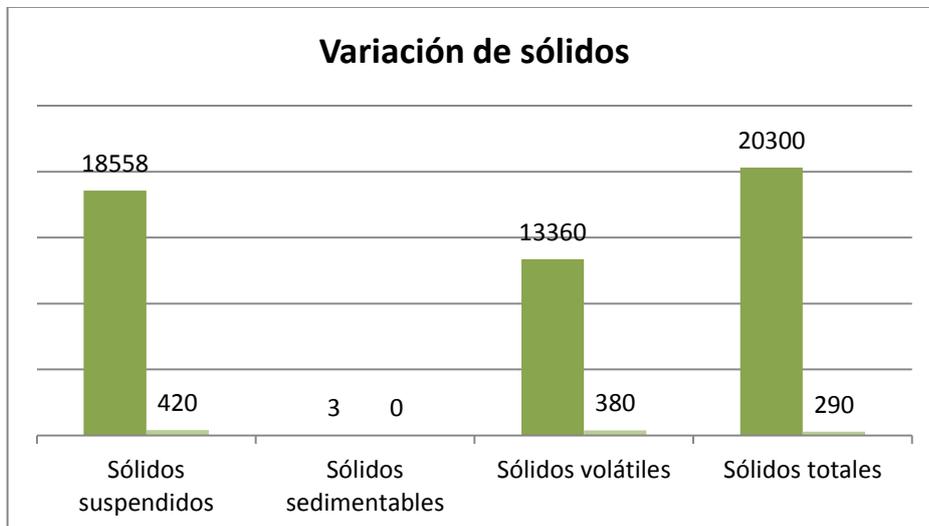


Figura 46.- Variación de sólidos (Autores)

En lo que se refiere a los sólidos podemos observar en la gráfica 46 una notable disminución de los mismos al final del proceso, recalcando que los sólidos sedimentables al final del tratamiento tuvieron un valor de cero.

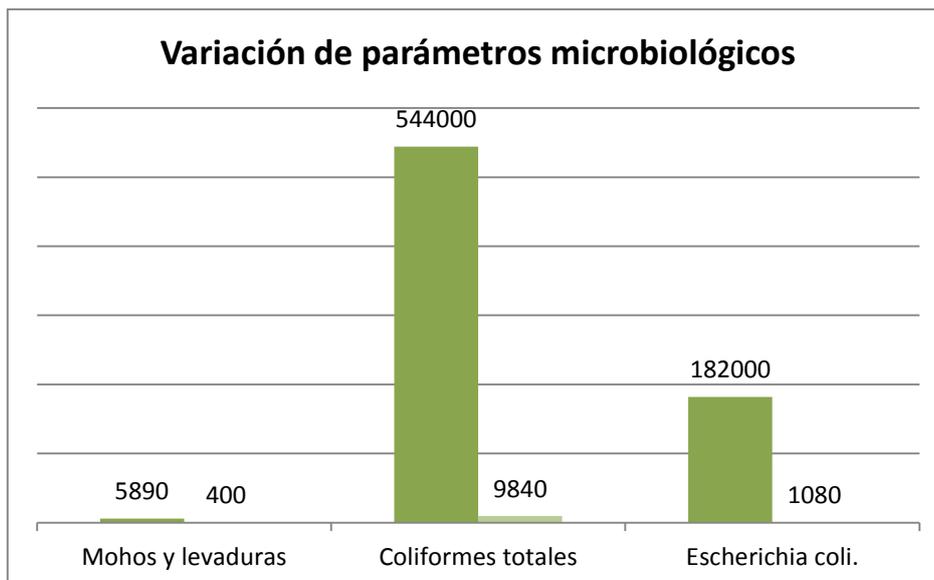


Figura 47.- Variación de parámetros microbiológicos (Autores)

Una vez finalizado el tratamiento se observa una considerable disminución de los parámetros microbiológicos.

4.7 CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS RESULTANTES DEL TRATAMIENTO POR LODOS ACTIVOS DEL AGUA RESIDUAL

Tabla LVI.- Parámetros caracterizados en los lodos

| Parámetro | Valores | Unidades |
|------------------|----------------|-----------------|
| Sólidos totales | 47800 | mg/L |
| N | 2.8 | % |
| P | 3.1 | % |
| K | 0.34 | % |

Fuente: Autores

Los lodos resultantes del proceso contienen una alta concentración de sólidos totales de 47800 mg/l lo cual indica que durante la aireación hubo una alta formación de flóculos, así también el porcentaje de nutrientes que estos contienen es bajo.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.4 CONCLUSIONES

- Durante la caracterización inicial del agua residual empleada para el tratamiento se pudo determinar que ésta presenta una alta carga de materia orgánica ya que tiene valores elevados de DBO y DQO de 28300 y 32000 respectivamente.
- En base a la caracterización del agua residual se diseñó el sistema de tratamiento de agua residual por lodos activos y posteriormente se efectuó su construcción considerando el 12% de las dimensiones obtenidas en los cálculos, teniendo así una planta a escala de laboratorio con un tanque reservorio, de aireación y sedimentación de 0.5m, 0.5 m y 0.75 m de largo, ancho y profundidad respectivamente, mientras que los tanques de almacenamiento de agua tratada y lodos residuales presentan medidas menores de 0.5 m de ancho, 0.5 m de largo y 0.5 m de profundidad.
- Una vez que el sistema de tratamiento fue instalado se pudo llevar a cabo el proceso de tratamiento durante un periodo de 11 días durante el cual se consideraron diferentes tiempos de retención hidráulica consiguiendo cumplir con el objetivo planteado al lograr una disminución de la carga contaminante de DBO en un 98%.
- A lo largo del tratamiento se logró mantener los valores de pH, temperatura y OD adecuados para un óptimo desarrollo de los microorganismos, mediante el estricto control de los mismos.
- En base a la experimentación se determinaron las constantes cinéticas propias para el agua residual de la quesera “Llin Llin - Pucara” las mismas que tienen los siguientes valores: $K = 58.82 \text{ d}^{-1}$, $Y = 0,1215 \text{ mg SSV/mg DBO}$ y $K_d = 2,045 \text{ d}^{-1}$.
- Se determinó los valores de los coeficientes de transferencia de oxígeno (K_{la}) para el agua residual y potable obteniéndose los valores de 2.81 h^{-1} y 4.22 h^{-1} respectivamente.

- La variación existente entre los valores obtenidos previos al diseño y los calculados en base a datos obtenidos durante la experimentación se debe a que en el diseño se emplean datos teóricos, los cuales no van a ser los mismos que los obtenidos en la práctica.
- Empleando la planta a escala de laboratorio construida se pudieron obtener los parámetros de diseño los cuales pueden ser llevados a una escala real para tratamientos dentro de empresas.

5.5 RECOMENDACIONES

- Realizar una caracterización adecuada del agua residual con el fin de determinar el tipo de tratamiento más óptimo.
- Para lograr una disminución de la carga contaminante hasta los límites permisibles de descarga se recomienda realizar ya sea un tratamiento previo o posterior al tratamiento biológico.
- Al momento de la construcción de la planta de tratamiento tomar en cuenta una altura de seguridad en cada una de las etapas del proceso, evitando así que ocurra algún tipo de inconveniente y el agua pueda derramarse.
- Tomarse el tiempo necesario hasta que el sistema se estabilice, ya que a partir de este momento el sistema trabajará óptimamente en bajos TRH.
- Controlar el oxígeno disuelto que se está suministrando en el tanque de aireación, para lo cual se recomienda realizar mediciones directas en el tanque cada cierto intervalo de tiempo.
- Según las condiciones ambientales del lugar en el que se realice el tratamiento del agua residual es muy importante el control de la temperatura ya que en zonas de clima frío la temperatura tiende a disminuir lo cual afectará al crecimiento bacteriano. De modo que si esto sucede se deben tomar alternativas que permitan mantener una temperatura adecuada dentro del sistema.
- El pH debe ser controlado periódicamente a fin de mantener valores adecuados, caso contrario este deber ser regulado ya sea con ácidos o bases según la necesidad que se tenga.

- Poner mucha atención en la sedimentación de los flóculos, a fin de determinar el tiempo de sedimentación adecuado.
- La realización de un análisis microscópico de los lodos generados sería importante ya que nos permitiría la identificación del tipo de microorganismos presentes en el tratamiento biológico.
- La caracterización final del lodo generado sería útil para determinar cuál podría ser la disposición final del mismo.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO VI

6. BIBLIOGRAFÍA

- 1.- **METCALF, y EDDY.**, Ingeniería Sanitaria tratamiento, evacuación y reutilización de las aguas residuales., 4ta ed., New York-USA., Editorial Mac Graw Hill., 2003., Pp. 565-650.

- 2.- **RODIE, E. y otros.**, Ingeniería Sanitaria., 2da ed., México D.F – México., Editorial Continental S.A de C.V México D.F., 1987., Pp. 2-13.

- 3.- **RAMALHO, R.**, Tratamiento de aguas residuales., 2da ed., Quebec - Canadá., Editorial Reverte., 2003., Pp. 62-76, 91-127, 253-409.

- 4.- **ROMERO, J.**, Tratamiento de Agua Residuales, Teoría y Principios de Diseño., 3ra ed., Bogotá - Colombia., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería., 2004., Pp. 232-300.

- 5.- VALDEZ, E. y otros.,** Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales., Mexico D.F – México., Fundación ICA., 2003.
Ebook:
<http://es.scribd.com/doc/126793347/Ingenieria-de-los-Sistemas-de-Tratamiento-y-Disposicion-de-Aguas-Residuales>
- 6.- BENEFIELD, L. y otros.,** Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia., “Biological Process Design for Wastewater Treatment”, Maracaibo – Venezuela., Editorial Prentice-Hall., 2002., Pp. 51, 53-56, 131-134, 136, 190-193, 210-217.
Ebook:
http://issuu.com/revista_aidis/docs/vol5_no1_2012
- 7.- DELGADO, J. y otros.,** Revista Ciencia e ingeniería., Diseño y construcción de una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales por lodos activados y su puesta en marcha para tratar vinazas de una destilería., Mérida – Venezuela., Vol 27., No 3., Agosto - Noviembre 2006., Pp. 145-151.
Ebook:
<http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/cienciaeingenieria/article/view/311>
- 8.- MÉNDEZ, L. y otros.,** Revista del Instituto de Investigación FIGMMG., Tratamiento de aguas residuales por lodos activados a escala de laboratorio., Lima – Perú., Universidad Nacional Mayor de San Marcos., Vol. 7., No. 14., Pp. 1-10.
Ebook:
http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol7_n14/a10.pdf

9.- VARILA, J. y otros., Revista de Tecnología - Journal of Technology., Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala de laboratorio., Bogotá – Colombia., Volumen 7., No. 2., Julio - Diciembre 2008., Pp. 21-28.

Ebook:

http://www.uelbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/revista_tecnologia/volumen7_numero2/tratamiento_aguas_residuales7-2.pdf

10.- ALVIZ, A., Diseño de un sistema de aireación para una planta de lodos activados en Zofranca Mamonal., Escuela de ingeniera química., Universidad de Cartagena., Cartagena – Colombia., TESIS., 2012., Pp. 65-87.

Ebook:

es.scribd.com/doc/155134542/DISENO-DE-UN-SISTEMA-DE-AIREACION-PARA-UNA-PLANAT-DE-LODOS-ACTIVADOS-EN-ZOFRANCA-MAMONAL

11.- BORJA, M., Diseño de una planta de tratamiento para aguas residuales de la ciudad de Guaranda., Escuela Ciencias Químicas., Facultad de Ciencias., Escuela Superior Politécnica De Chimborazo., Riobamba – Ecuador., TESIS., 2011., Pp. 52-105

Ebook:

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1626/1/236T0043.pdf>

12.- LÓPEZ, J., Evaluación de la eficiencia de un reactor anaeróbico de flujo ascendente y manto de lodos UASB para el tratamiento de aguas residuales – escala laboratorio., Escuela de Ingeniería Química., Universidad San Francisco de Quito., Quito – Ecuador., TESIS., 2011., Pp. 21-82.

Ebook:

<http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/750/1/98208.pdf>

13.- PINZÓN, L., Tratamiento biológico de efluentes de industrias procesadoras de cueros usando lodos activados., Universidad Nacional Experimental del Táchira., San Cristóbal - Venezuela., TESIS., 2009., Pp. 9-59.

Ebook:

<https://www.google.com.ec/search?hl=es&noj=1&biw=1280&bih=639&q=1.%09Harmand%2C>

14.- RINCONES, M. y otros., Lodos activados a escala laboratorio para el tratamiento de efluentes de una industria papelera., Facultad de Ingeniería., Universidad Central de Venezuela., Caracas – Venezuela., TESIS., 2013., Pp. 5-28.

Ebook:

https://www.google.com.ec/?gfe_rd=cr&ei=Sg1LU7m-BpXHgATE4CYCQ#q=Lodos+activados+a+escala+laboratorio+para+el+tratamiento+de+efluentes+de+una+industria+papelera.+

15.- UMAÑA, R., Tratamiento de aguas residuales de la industria de curtiembre mediante un sistema de lodos activados a escala piloto., Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales., Universidad de la frontera., Temuco – Chile., TESIS., 2004., Pp. 11-19.

Ebook:

http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=we%2Fw_K2n-PabAMJRVxhQaSygA0g&bvm=bv.64542518,d.cWc

16.- VIRACUCHA, S., Tratamiento biológico de aguas residuales generadas en un ingenio azucarero con la tecnología de lodos activados., Escuela de Ingeniería Química., Universidad Central del Ecuador., Quito – Ecuador., TESIS., 2012., Pp. 85-105.

Ebook:

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/864/1/T-UCE-0017-18.pdf>

BIBLIOGRAFÍA DE INTERNET

17.- BLOGGER., Tecnologías de depuración: situación actual y perspectivas.

<http://www.docstoc.com/docs/50995154/El-proceso-de-lodos-activos-es-seguramente-el-proceso---Download-as-DOC>

(05-01-2014)

18.- CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.

<http://cidta.usal.es/curso/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas.PDF>

(26-11-2013)

19.- CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL AGUA RESIDUAL.

<http://www.epa.gov/espanol/>

(15-03-2014)

20.- DESARROLLO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.

<https://www.cityoftulsa.org/city-services/wastewater/treatment-plants.aspx>

(05-01-2014)

21.- LODOS ACTIVADOS PARÁMETROS

<http://www.sidilab.com/blog/gunt-hamburg-la-marca-de-la-formacion-mas-profesional/>

(05-11-2013)

22.- PLANTAS DE AGUA A ESCALA DE LABORATORIO

<http://www.awtsa.com/>

(05-01-2014)

23.- PLANTAS DE AGUA RESIDUAL

http://www.alquiser.com/web_alquiser/equipos/aguasresiduales

(05-01-2014)

24.- SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA EN SISTEMAS DE LODOS ACTIVADOS.

<https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja2F%2FwW3E8SHkQfotIGgBA&usg=AFQjCNHRs8FGeDOsXzfRwJDYtSmpTvF67A&bvm=bv.61535280,d.eW0>

(01-09-2014)

25.- TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS POR EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS.

<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/centroa22/Ponencia1.pdf>

(18-02-2014)

26.- TRATAMIENTO TERCIARIO DE AGUAS RESIDUALES.

<http://civilgeeks.com/2010/09/29/tratamiento-terciario-de-aguas-residuales/>

(06-12-2013)

ANEXOS

ANEXO 1

MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL POR LODOS ACTIVOS A ESCALA DE LABORATORIO

La planta de tratamiento a escala de laboratorio consta de una mesa de dos pisos de 2 m de largo por 0,5 m de ancho, en la cual los tanques y equipos empleados se encuentran distribuidos de la siguiente manera:

Parte superior de la mesa

- ✓ En primer lugar se encuentra ubicado el tanque de almacenamiento en el cual se ha colocado a 10 cm de la parte superior una malla de orificios de 2 X 1 cm con la finalidad de que partículas de gran tamaño sean retenidas evitando así que estas ingresen al tratamiento.
Este tanque cuenta con dos salidas una en la parte inferior para la descarga de lodos que pudieran formarse en este a lo largo del almacenamiento del agua residual, y otra en el costado izquierdo para que el agua pase al siguiente tanque de tratamiento.
- ✓ Seguido a éste se encuentra el reactor de aireación al cual llega el efluente del tanque de almacenamiento, dentro de éste se encuentran colocadas 12 piedras difusoras de aire conectadas a un compresor lo cual mantendrá al agua en constante aireación, dicho reactor cuenta con 3 orificios: uno por el cual ingresa el agua proveniente del tanque de almacenamiento, otro por el cual llegan los lodos de la recirculación y por último un orificio por el cual el agua pasará hacia el tanque de sedimentación.
- ✓ A continuación tenemos el tanque de sedimentación en donde los lodos precipitan y parte de éstos son recirculados, este tanque cuenta además con una salida del efluente tratado. El reactor de sedimentación se caracteriza por presentar una ligera inclinación para lo cual se consideró una pendiente del 20%, la misma que garantizará una sedimentación adecuada de los lodos para lograr una mejor recirculación.

Parte inferior de la mesa

- ✓ Se encuentra ubicado por debajo del tanque reservorio el tanque en donde se almacenará el exceso de lodos provenientes tanto del tanque de almacenamiento así como del tanque de sedimentación.
- ✓ Debajo del tanque de sedimentación se encuentra localizado el tanque donde se almacenará el efluente tratado que saldrá al final del proceso.
- ✓ En la parte inferior también tenemos una bomba de ¼ HP empleada para la recirculación de lodos y un compresor Steele 1/3 HP, el cual está unido a dos mangueras de presión las cuales conducen el aire hacia las piedras difusoras ubicadas en el reactor de aireación. En éstas mangueras se encuentran instaladas llaves para poder controlar el flujo de aire según los requerimientos de oxígeno disuelto (2 mg/L), a más de esto también se ha colocado un filtro de aire en cada manguera para garantizar la entrada de aire más puro.

El compresor cuenta con dos manómetros, uno de ellos nos indica la presión total del tanque la cual es de 100 PSI, mientras que el segundo manómetro nos permite regular la presión del aire de acuerdo a lo que se requiera en dependencia del oxígeno disuelto.

Metodología para la práctica

1. Caracterizar física, química y microbiológicamente el agua residual a tratar en la planta a escala de laboratorio.
2. Se debe colocar el volumen de agua residual deseado (el volumen recomendado es de 100 L) en el tanque de almacenamiento lo cual corresponde a 40 cm de la altura total del tanque.
3. Encender la cabeza de poder (bomba sumergible) para pasar el agua residual al reactor de aireación.
4. Con la llave que se encuentra instalada en la tubería se procede a controlar el caudal de paso, el cual va a depender del operador del equipo.

5. Encender el compresor y haciendo uso de los manómetros, proceder a regular la presión (5 PSI) para que el oxígeno disuelto en el agua se mantenga entre 1.5 y 2.5 mg/L.
6. De igual manera es factible controlar el paso de aire haciendo uso de las llaves que se encuentran instaladas en la manguera de presión las cuales están conectada al compresor.
7. Debido a que el compresor no debe permanecer más de 8 horas encendido, se procede a apagarlo cada 8 horas por un lapso de 30 minutos. Durante éste tiempo de descanso del compresor, se debe controlar el oxígeno disuelto con la finalidad de que no disminuya a niveles por debajo de lo establecido.
8. Proceder a airear el agua residual durante el tiempo de retención hidráulica establecida.
9. Mientras el agua está en constante aireación se debe controlar parámetros como la temperatura, pH, oxígeno disuelto, sólidos sedimentables, suspendidos y volátiles.
10. Una vez culminado el tiempo de aireación de la muestra de agua a tratar, se la debe descargar al sedimentador y esperar un tiempo aproximado de 1 hora para lograr una sedimentación adecuada.
11. Cuando los sólidos ya hayan sedimentado en el reactor se procede a tomar una muestra del efluente para determinar si la carga de materia orgánica va disminuyendo, lo recomendable es realizar análisis de DQO ya que sus resultados se los puede obtener en aproximadamente 3 horas.
12. Luego se realiza la recirculación de los lodos generados hacia el reactor de aireación con el fin de incrementar la biomasa y asegurar un mejor tratamiento del agua con cada recirculación.
13. Finalmente se debe llevar a cabo una caracterización física, química y microbiológica del agua resultante del tratamiento, a fin de poder determinar la eficiencia del proceso.

ANEXO 2

COSTOS DEL PROYECTO

Corresponde a todos los gastos que se realizaron durante la construcción e implementación puesta en marcha de la planta piloto de tratamiento de aguas por lodos activos. Se consideran costos directos, indirectos y totales.

a) COSTOS DIRECTOS

Corresponde a los materiales, equipos empleados y mano de obra, dentro de nuestro proyecto tenemos los siguientes:

Tabla LVII.- Costos directos de la construcción e implementación de la planta a escala de laboratorio

| MATERIAL | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL \$ |
|---|-----------------|---------------|----------------------------|----------------------------|
| Planchas de policarbonato (8 mm) | 2 | unds | 60.00 | 120.00 |
| Armado de Tanques | 5 | unds | 4 | 20.00 |
| Manguera de Presión | 5 | m | 3.25 | 16.25 |
| Acoples para manguera de ¼" | 6 | unds | 2 | 12.00 |
| Abrazaderas para manguera | 8 | unds | 0.45 | 3.60 |
| Piedras difusoras | 12 | unds | 9.50 | 114.00 |
| Acoples para tubería de ½" | 9 | unds | 2.50 | 22.50 |
| Universal de 1" | 1 | unds | 3.50 | 3.50 |
| Cabezas de poder de 400 L/h | 2 | unds | 16.00 | 32.00 |
| Cabeza de poder de | 1 | unds | 18.00 | 18.00 |

| | | | | |
|--|----|------|--------|--------|
| 700 L/h | | | | |
| Bomba de agua | 1 | unds | 80.00 | 80.00 |
| Malla soldada 50x50 | 1 | unds | 3.88 | 3.88 |
| Filtros de Aire | 2 | unds | 18.48 | 36.96 |
| Válvula esférica de bronce 1" | 1 | unds | 1.96 | 1.96 |
| Válvula esférica de bronce 1/2" | 5 | unds | 3.33 | 14.99 |
| Tee HG ¼" | 2 | unds | 0.58 | 1.16 |
| Codos polimex ¼" | 2 | unds | 2.41 | 4.82 |
| Codo 1" | 1 | unds | 1.80 | 1.80 |
| Codos ½" | 2 | unds | 1.50 | 3.00 |
| Válvula esférica 1 1/4" SK | 1 | unds | 8.84 | 8.84 |
| Reductor 1/2" | 2 | unds | 0.89 | 1.76 |
| Tubo PVC ½" | 2 | unds | 19.55 | 19.55 |
| Tubo PVC ¾" | 1 | unds | 2.01 | 2.01 |
| Neplos | 2 | unds | 1.78 | 3.57 |
| Teflón | 2 | unds | 0.40 | 0.80 |
| Permatex | 1 | und | 3.50 | 3.50 |
| Tubos Sikaflex 1a | 8 | unds | 12.00 | 96.00 |
| Madera antihumedad | 1 | unds | 60.00 | 60.00 |
| Mesa de metal | 1 | unds | 30.00 | 30.00 |
| Compresor Steele | 1 | unds | 150.00 | 150.00 |
| Abrazaderas de Platino | 6 | unds | 3.00 | 18.00 |
| Aislante Térmico | 3 | m | 5.00 | 15.00 |
| Transporte de materiales | 10 | --- | 12.00 | 120.00 |
| Mano de Obra | 1 | --- | 80.00 | 80.00 |

| | | | | |
|--|--|--|--------------|----------------|
| | | | TOTAL | 1119.45 |
|--|--|--|--------------|----------------|

Fuente: Autores

b) COSTOS INDIRECTOS

Son costos que no tienen relación directa con la construcción de la planta piloto.

Tabla LVIII.- Costos indirectos de la construcción e implementación de la planta a escala de laboratorio

| Materiales | Cantidad | Unidades | Costo unitario | Total |
|---|-----------------|-----------------|-----------------------|---------------|
| Cable para Extensión | 1 | unds | 3.85 | 3.85 |
| Destornillador | 1 | unds | 2.00 | 2.00 |
| Estilete | 1 | unds | 0.50 | 0.50 |
| Baldes de 30 lts | 5 | unds | 3.50 | 17.50 |
| Baldes de 60 ltas | 2 | unds | 7.00 | 14.00 |
| Arreglo de los tanques | 1 | --- | 70.00 | 70.00 |
| Manguera para acuario | 3 | m | 0.80 | 2.40 |
| Análisis de Laboratorio | 5 | muestras | 242.00 | 242.00 |
| Medidor de Oxígeno Disuelto Portátil | 1 | unds | 381.00 | 381.00 |
| | | | | |
| | | | TOTAL | 741.25 |

Fuente: Autores

c) COSTO TOTAL DEL PROYECTO

Tabla LIX.- Costos totales de la construcción e implementación de la planta a escala de laboratorio

| | |
|--------------------------|----------------|
| Costos directos | 1119.45 |
| Costos indirectos | 741.25 |
| TOTAL | 1860.70 |

Fuente: Autores

ANEXO 3

FOTOGRAFÍAS

3.1 Construcción de la planta a escala de laboratorio



FOTOGRAFÍA 1: Construcción de los tanques



FOTOGRAFÍA 2: Construcción de la mesa



FOTOGRAFÍA 3: Ubicación de los tanques



FOTOGRAFÍA 4: Ubicación de las piedras difusoras



FOTOGRAFÍA 5: Colocación de tuberías

3.2 Partes de la planta a escala de laboratorio



FOTOGRAFÍA 6: Cabeza de poder



FOTOGRAFÍA 7: Piedras difusoras de aire



FOTOGRAFÍA 8: Filtros de aire



FOTOGRAFÍA 9: Malla



FOTOGRAFÍA 10: Compresor de aire 1/3 HP



FOTOGRAFÍA 11: Bomba para recirculación



FOTOGRAFÍA 12: Tanque reservorio de agua residual



FOTOGRAFÍA 13: Tanque de aireación del agua residual



FOTOGRAFÍA 14: Tanque de sedimentación



FOTOGRAFÍA 15: Tanque de agua tratada



FOTOGRAFÍA 16: Tanque de lodos residuales



FOTOGRAFÍA 17: Planta a escala de laboratorio para el tratamiento de agua residual por lodos activos

3.3 Quesera Llinllin Pucará



FOTOGRAFÍA 17: Quesera Llinllin Pucara



FOTOGRAFÍA 18: Quesera Llinllin Pucara



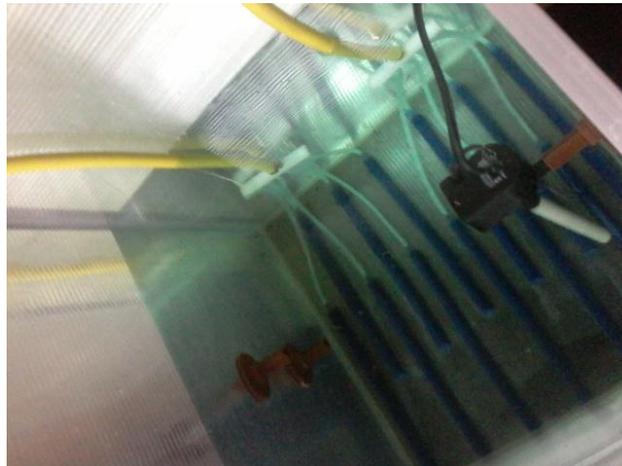
FOTOGRAFÍA 19: Quesera Llinllin Pucara

3.4 Medición de caudal



FOTOGRAFÍA 20: Medición de caudal

3.5 Desoxigenación del agua potable



FOTOGRAFÍA 21: Desoxigenación del agua

3.6 Parámetros de control durante el proceso



FOTOGRAFÍA 22: Medición pH y temperatura



FOTOGRAFÍA 23: Medición de oxígeno disuelto



FOTOGRAFÍA 24: Medición de sólidos suspendidos volátiles



FOTOGRAFÍA 25: Medición de sólidos sedimentables

3.7 Agua tratada



FOTOGRAFÍA 26: Muestra de agua residual tratada

ANEXO 4

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

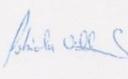
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO PREVIO AL TRATAMIENTO



Contáctanos: 093387300 - 032924322 ó 0984648617 – 03360-260
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes
Riobamba – Ecuador

EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA

CÓDIGO 77-14

| | | |
|--|--------------------------|----------------------|
| CLIENTE: Srta. María José Guerra | | |
| DIRECCIÓN: Pucará | | TELÉFONO: 0987259588 |
| TIPO DE MUESTRA: Agua Residual de Quesera | | |
| FECHA DE RECEPCIÓN: 14 de marzo de 2014 | | |
| FECHA DE MUESTREO: 14 de marzo de 2014 | | |
| EXAMEN FÍSICO | | |
| COLOR: Blanquecino | | |
| OLOR: Lácteo | | |
| ASPECTO: normal, libre de material extraño | | |
| PARÁMETROS | MÉTODO | RESULTADO |
| Mohos y levaduras UPC/mL | Siembra en extensión | 5 890 |
| Coliformes totales UFC/mL | Siembra vertido en placa | 544 000 |
| Escherichia coli. UFC/mL | Siembra vertido en palca | 182 000 |
| OBSERVACIONES: | | |
| FECHA DE ANÁLISIS: 16 de marzo de 2014 | | |
| FECHA DE ENTREGA : 31 de marzo de 2014 | | |
| RESPONSABLES: | | |
|    | | |
| Dra. Gina Álvarez R. | | |
| Dra. Fabiola Villa | | |
| El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables. *Las muestras son receptadas en laboratorio. | | |

ANEXO 5

CARACTERIZACIÓN DE LODOS

| | | |
|---|---|---|
|  | ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE RECURSOS NATURALES DEPARTAMENTO DE SUELOS |  |
| Nombre del Propietario: María José Guerra | | Fecha de ingreso: 03/04/2014 |
| Remite: | | Fecha de salida: 09/04/2014 |
| Ubicación: Facultad de Ciencias-ESPOCH | Licán | Riobamba |
| Nombre de la granja | Parroquia | Cantón |
| | | Chimborazo |
| | | Provincia |

RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DEL ANALISIS FISICO Y QUIMICO DE LODOS RESIDUALES

| Identificación | Sólidos/100ml | % | | |
|----------------|---------------|-----|-----|------|
| | | N | P | K |
| | 4.78 g | 2.8 | 3.1 | 0.34 |

| | |
|---------------------|----------|
| CODIGO | |
| N: Neutro | A: alto |
| S: Suficiente | M: medio |
| L. Ac: Liger. ácido | B: bajo |

| | |
|---|--|
|  Ing. José Arcos T. DIRECTOR DPTO DE SUELOS Dirección: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur Km1 ¼, Facultad de Recursos Naturales, Teléfono 2998220 Extensión 418 "Apoyando a la producción sana, rentable y amigable con la naturaleza" |  Ing. Elizabeth Pachacama TECNICO DE LABORATORIO  |
|---|--|

ANEXO 6

PLANOS